

**STUDI LITERATUR PENGARUH DOPING COBALT KE
DALAM NANOPARTIKEL ZINC OXIDE TERHADAP
STRUKTUR KRISTAL, MORFOLOGI, DAN SIFAT OPTIK**

SKRIPSI

oleh :

NI'MATUL KHOERiyAH

165090301111028



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2021**









**STUDI LITERATUR PENGARUH DOPING COBALT KE
DALAM NANOPARTIKEL ZINC OXIDE TERHADAP
STRUKTUR KRISTAL, MORFOLOGI, DAN SIFAT OPTIK**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
dalam bidang fisika

oleh :

**NI'MATUL KHOERİYAH
165090301111028**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2021**





(Halaman ini sengaja dikosngkan)

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**STUDI LITERTUR PENGARUH DOPPING COBALT KE
DALAM NANOPARTIKEL ZINC OXIDE TERHADAP
STRUKTUR KRISTAL, MORFOLOGI, DAN SIFAT OPTIK**

Oleh :

**NI'MATUL KHOERiyAH
165090301111028**

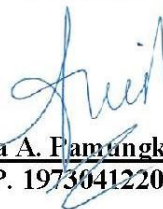
Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal **8 JULI 2021**
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Fisika

Pembimbing I



Dr. Heru Harsono, M.Si
NIP. 196007161985031005

Pembimbing II



Mauludia A. Pamungkas, M.Si., Ph.D
NIP. 197304122000031013

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya



Prof. Dr. Per.nat. Muhammad Nurhuda
NIP. 196409101990021001



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ni'matul Khoeriyah

NIM : 165090301111028

Jurusan : Fisika

Penulis Skripsi Berjudul :

**STUDI LITERTUR PENGARUH DOPPING COBALT KE
DALAM NANOPARTIKEL ZINC OXIDE TERHADAP
STRUKTUR KRISTAL, MORFOLOGI, DAN SIFAT OPTIK**

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya saya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain. Nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di Daftar Pustaka digunakan sebagai referensi pendukung dalam skripsi.
2. Apabila dikemudian hari ternyata skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, Mei 2021

Yang menyatakan,



Ni'matul Khoeriyah

NIM. 165090301111028



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STUDI LITERATUR PENGARUH DOPPING COBALT KE DALAM NANOPARTIKEL ZINC OXIDE TERHADAP STRUKTUR KRISTAL, MORFOLOGI, DAN SIFAT OPTIK

ABSTRAK

Nanomaterial saat ini banyak dimanfaatkan dalam pengembangan teknologi. Nanomaterial memiliki sifat yang unik dan berbeda dari material bulk nya serta dapat di fungsionalisasi dengan cara didoping. Oleh karena it dilakukan studi literatur pengaruh doping Cobalt (Co) pada nanopartikel Zinc Oxide (ZnO) terhadap struktur kristal, morfologi dan sifat optiknya. Struktur kristal dan *Crystallite Size* nanopartikel ZnO dianalisis menggunakan hasil XRD dari sumber data dengan berbagai variasi doping cobalt. Analisis Struktur kristal menggunakan grafik XRD dan parameter kisi yang dibandingkan dengan literatur. *Crystallite Size* dianalisis dari hasil perhitungan menggunakan persamaan Scherrer. Morfologi nanopartikel dianalisis dari hasil SEM/ TEM. Sifat optic dianalisis menggunakan data hasil spektroskopi UV-Vis berupa absorbansi dan energy gap yang telah dihitung menggunakan persamaan Tauc. Struktur kristal nanopartikel ZnO dan ZnO didoping Cobalt adalah *hexagonal wurtzite* . *Crystallite Sizenya* semakin berkurang setelah diberi doping. Morfologi nanopartikel ZnO didoping cobalt dari berbagai artikel rujukan teramati dalam bentuk rod, *sphere*, dan *irregular plate*. Absorbansi nanopartikel ZnO didoping cobalt mengalami peningkatan dan energi gap nanopartikel ZnO yang telah didioping Cobalt mengalami penurunan. Beberap sumber data ditemukan meningkatnya energi gap setelah didioping Cobalt akibat adanya Efek Burstein-moss. Doping Cobalt terhadap nanopartikel ZnO berpengaruh pada structur, morphology, dan sifat optiknya.

Kata Kunci: nanopartikel, ZnO, cobalt, struktur kristal, morfologi, optik.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



STUDI LITERATUR PENGARUH DOPPING COBALT KE DALAM NANOPARTIKEL ZINC OXIDE TERHADAP STRUKTUR KRISTAL, MORFOLOGI, DAN SIFAT OPTIK

ABSTRACT

Nowadays, Nanomaterial becomes the huge part of technological development. Nanomaterial has unique properties and characteristics as well as it can be improved by adding material doping. Therefore, this Literature Study on effect of Co-doping on crystal structure, morphology, and optical properties was conducted. Crystallite structure and size were analyzed using X-Ray Diffraction test result from data sources with cobalt doping in various concentrations. Crystallite structure was analyzed using XRD graph and lattice parameters which was compared to literature data. Crystallite size was analyzed using outcomes from Scherrer's equation calculation. Nanoparticle morphology was analyzed using SEM/ TEM test result. Optical characteristic was analyzed using UV-Vis Spectroscopy including absorbance and band gap energy calculated using Tauc equation. Crystallite structural of pure ZnO and ZnO nanoparticle doped with Cobalt was hexagonal wurtzite. Crystallite Size of ZnO nanoparticles after being doped with Cobalt has decreased. Morphology of ZnO nanoparticle doped with Cobalt from various sources was observed in rod, sphere, and irregular plate shape. Absorbance of ZnO nanoparticle doped with Cobalt was increasing and band gap energy was decreasing. Some sources suggested the increasing in band gap energy of ZnO nanoparticles after being doped with cobalt and it was explained by Burstein-moss Effect. Cobalt doping ZnO nanoparticles affect structural, morphological, and optical properties.

Key words: nanoparticle, ZnO, cobalt, structure, morphology, and optic.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT berkat rahmat, hidayah, dan karunianya sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “STUDI LITERTUR PENGARUH DOPPING COBALT KE DALAM NANOPARTIKEL ZINC OXIDE TERHADAP STRUKTUR KRISTAL, MORFOLOGI, DAN SIFAT OPTIK”. Skripsi merupakan mata kuliah wajib bagi mahasiswa S-1 di Jurusan Fisika Kelompok bidang minat Material Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya dan merupakan prasyarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Science (S.Si)

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapat bantuan moral maupun fisisik dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatanini penyusun ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua Bapak Khaerudin dan Ibu Lipsah serta kedua kakak tercinta yang selalu memeberikan dukungan moral dan mental.
2. Bapak Prof. Dr. rer.nat Muhammad Nurhuda selaku Ketua jurusan Fisika Universitas Brawijaya
3. Ibu Dr. Eng. Masruroh, S.Si., M.Si. selaku ketua prodi Fisika Universitas Brawijaya,
4. Bapak Dr. Heru Harsono , M.Si., selaku Dosen pembimbing I dan Bapak Mauludia A. PAmungkas, M.Si., Ph.D selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan saran dalam penelitian dan penulisan skripsi ini.
5. Fian Rifqi Irsalina, Rafika Kharunnisa, M. Asrul syafi’I, M.Anjar Fadillah, dan Mona Lisyah selaku teman diskusi yang banyak membantu menyelesaikan skripsi ini.
6. Teman-teman Jurusan Fisika 2016 dan kakak-kakak tingkat Jurusan Fisika atas segala dukungannya,
7. Teman-teman saya Devy Rizkillah, Lia Khusna Rizky Yaeni, (Almh) Yulita Nurhayati, Seftiana Khaerunnisa, Nurul Inayah, Rima Shintia, Rhea Elian, Yunita Anggraeni, Nova Andytia, Dian Mela S, Refani Simbolon atas dukungan secara moral selama perkuliahan dan pembuatan skripsi ini.

8. Pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu oleh penulis yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini.

Bahwa sesungguhnya tidak ada yang sempurna selain Allah SWT sehingga Penulis menyadari masih banyak kekurangan yang terdapat dalam skripsi ini. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun.

Penulis



DAFTAR ISI

halaman

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	iii
--------------------------------	-----

ABSTRAK	vii
---------------	-----

ABSTRAC.....	ix
--------------	----

KATA PENGANTAR.....	xi
---------------------	----

DAFTAR ISI.....	xiii
-----------------	------

DAFTAR GAMBAR.....	xv
--------------------	----

DAFTAR TABEL.....	xix
-------------------	-----

DAFTAR LAMPIRAN	xxi
-----------------------	-----

BAB I PENDAHULUAN	1
-------------------------	---

1.1 Latar Belakang.....	1
-------------------------	---

1.2 Rumusan Masalah.....	3
--------------------------	---

1.3 Tujuan Penelitian.....	3
----------------------------	---

1.4 Fokus Penelitian.....	3
---------------------------	---

1.5 Manfaat.....	3
------------------	---

BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
------------------------------	---

2.1 Nanomaterial.....	5
-----------------------	---

2.2 Seng Oksida (ZnO).....	6
----------------------------	---

2.2.1 Struktur Kristal Seng Oksida	6
--	---

2.2.2 Karakteristik dan Properti Zinc Oxide	8
---	---

2.3 Cobalt.....	8
-----------------	---

2.4 Sintesis Nanopartikel	9
---------------------------------	---

2.4.1 Metode Kopresipitasi	10
----------------------------------	----

2.4.2 Metode Sol Gel.....	10
---------------------------	----

2.5 Metode Analisis X-Ray Difrraction.....	11
--	----

2.5.1 Prinsip Kerja XRD.....	11
------------------------------	----



2.5.2 Kristalografi	12
2.5.3 Menentukan Ukuran Kristal Dari Pola Difraksi	16
2.6 Metode SEM-EDS	17
2.6.1 Prinsip Kerja SEM.....	17
2.6.2 EDS	18
2.7 Metode Spektroskopi UV-Vis.....	19
2.7.1 Prinsip kerja UV-Vis	19
2.7.2 Energi Gap Semikonduktor	20
2.7.3 Penentuan energy Gap Menggunakan Grafik Tauc-Plot..	22
BAB III METODE PENELITIAN.....	25
1.1 Metode Penelitian	25
1.2 Waktu dan Tempat Penelitian	25
1.3 Tahapan Penelitian.....	25
1.4 Artikel Rujukan Sumber Data.....	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Analisis Struktur	29
4.2 Analisis Morfologi	38
4.3 Analisis Sifat Optik.....	44
4.4 Pembahasan.....	54
BAB V PENUTUP.....	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN.....	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema bentuk-bentuk nanomaterial hasil sintesis menggunakan metode <i>bottom-up</i>	5
Gambar 2. 2 Struktur Kristal ZnO (a) cubic rocksalt (b) cubic zinc blende	6
Gambar 2. 3 (a) Struktur kristal ZnO hexagonal wurtzite (b) Skematik Struktur ZnO Wurtzite.	7
Gambar 2. 4 Skema pendekatan sintesis nanopartikel metode <i>bottom-up</i>	9
Gambar 2. 5 Skematik proses kopresipitasi sintesis nanopartikel NiO	10
Gambar 2. 6 Difraksi bragg pada sudut tertentu.....	11
Gambar 2. 7 Bidang kristal dengan indeks Miller yang berbeda pada struktur kristal kubik.	15
Gambar 2. 8 Pola diffraksi ZnO	16
Gambar 2. 9 Celah Pita energi dari beberapa material.....	20
Gambar 2. 10 Absorpsi foton pada (a) celah pita langsung dan (b) celah pita tidak langsung.	21
Gambar 2. 11 Contoh Tauc Plot ($\alpha h\nu$) ² terhadap energi foton untuk zinc oxide yang didoping Fe 1%	23
Gambar 2. 12 Grafik Tauc-plot menggunakan persamaan Kubelk-Munk	24
Gambar 3. 1 Tahapan Umum Penelitian	25
Gambar 4. 1 (a) Grafik pola XRD Nanopartikel ZnO murni dan nanopartikel ZnO didoping Cobalt (b) Grafik pola XRD diperbesar pada 2θ 36.8°-37.0°	30
Gambar 4. 2 Grafik pola XRD nanopartikel ZnO didoping cobalt x = 0.0, x = 0.01, x = 0.03, x = 0.05, dan x = 0.07.	30
Gambar 4. 3 Grafik pola XRD nanopartikel ZnO didoping cobalt (a) x = 0.0 (b) x = 0.05 (c) x = 0.10 (d) x = 0.15 (e) x = 0.07	32
Gambar 4. 4 (a) Grafik pola XRD nanopartikel ZnO didoping cobalt x = 0.0, x = 0.04, x = 0.06, x = 0.08, x = 0.1 (b) Grafik pola XRD diperbesar pada 2θ 31.2° -32.8°	32
Gambar 4. 5 Grafik pola XRD nanopartikel ZnO didoping cobalt x = 0.0, x = 0.01, x = 0.2, x = 0.03, x = 0.04	33
Gambar 4. 6 Gambar SEM (a) nanopartikel ZnO murni (b) nanopartikel ZnO didoping Cobalt x = 0.05.....	39



Gambar 4. 7 Gambar SEM (a) nanopartikel ZnO murni (b) nanopartikel ZnO didoping Cobalt $x = 0.2$	39
Gambar 4. 8 Gambar micrograph TEM nanopartikel ZnO didoping Cobalt $Zn_{1-x}Co_xO$, ($0.0 \leq x \leq 0.07$)	40
Gambar 4. 9 Gambar SEM nanopartikel ZnO didoping Cobalt (a) dan (b) $x = 0.0$ (c) 0.04 (d) 0.06 (e) 0.08 (f) 0.1	41
Gambar 4. 10 Gambar SEM (a) nanopartikel ZnO murni (a) nanopartikel ZnO didoping Cobalt $x = 0.01$	42
Gambar 4. 11 Grafik Hasil UV-V DRS is Nanopartikel ZnO dan ZnO didoping Cobalt $x = 0.00, 0.01, 0.03, 0.05, 0.07$	45
Gambar 4. 12 Grafik Hasil Spektroskopi UV-Vis Nanopartikel ZnO dan Nanopartikel ZnO didoping Cobalt $x = 0.00, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1$	46
Gambar 4. 13 Grafik Hasil Spektroskopi UV-Vis Nanopartikel ZnO dan Nanopartikel ZnO didoping Cobalt $x = 0.0, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04$	46
Gambar 4. 14 Grafik Tauc Plot (a) nanopartikel ZnO murni (b) nanopartikel ZnO doping Cobalt $x = 0.05$	48
Gambar 4. 15 Grafik Tauc Plot nanopartikel ZnO doping Cobalt $x = 0.00, 0.5, 0.10, 0.15, 0.20$	49
Gambar 4. 16 Grafik Tauc Plot nanopartikel ZnO doping Cobalt $x = 0.00, 0.01, 0.03, 0.05, 0.07$	50
Gambar 4. 17 grafik plot $[hvF(R_{\infty})]$ terhadap energy foton $h\nu$ nanopartikel ZnO doping Cobalt $x = 0.00, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1$	51
Gambar 4. 18 grafik plot $[hvF(R_{\infty})]$ terhadap energy foton $h\nu$ nanopartikel ZnO doping Cobalt $x = 0.00, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1$	52

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Sistem Kristal	12
Tabel 3.1 Daftar Artikel Referensi	26
Tabel 4.1 Parameter Kisi	35
Tabel 4.2 <i>Crystallite Size</i>	37
Tabel 4.3 Diameter Parameter Rata-rata	43
Table 4.4 Energi Gap data yang dianalisis	53

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Lampiran 1. Hasil pengukuran diameter rata-rata menggunakan aplikasi Image J.....	64
Lampiran 2. Data hasil XRD dan dibandingkan dengan sata JCPDS (Devi dan Velu, 2016).....	71



(Halaman ini sengaja dikosongkan)





BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nanomaterial saat ini banyak dimanfaatkan dalam pengembangan teknologi. Suatu material dikategorikan sebagai nanomaterial apabila memiliki ukuran di bawah 100 nm. Material dalam ukuran kecil memiliki sifat dan property yang berbeda dari *bulknya* yang dapat dimanfaatkan untuk mendukung perkembangan teknologi saat ini. Material yang memiliki ukuran yang kecil memiliki luas permukaan yang jauh lebih luas. Semakin luas permukaan suatu material mengakibatkan semakin luas daerah yang berinteraksi dengan lingkungan. Permukaan pada nanomaterial membentuk antarmuka yang tajam antara partikel dengan lingkungan sekitarnya atau antara fase presipitasi nya dengan fase induk nya (Vollath, 2013).

ZnO atau Seng Oksida merupakan senyawa anorganik yang termasuk ke dalam bahan semikonduktor. ZnO memiliki energy gap sebesar 3,37 eV, memiliki energy ikat eksitasi 60 meV, dan senyawa kimianya dapat berpadu dengan senyawa lain. Sifat dan nilai spesifik yang dimiliki ini yang membuat ZnO dapat diaplikasi diberbagai bidang. Aplikasi Seng Oksida diantaranya untuk berbagai sensor, penyimpanan, perangkat optic, sel surya, *drug delivery*, UV light blocker, dan fotokatalis. Oleh karena itu, Seng Oksida saat ini banyak dikembangkan. Salah satu pengembangan Seng Oksida adalah memodifikasi seng oksida atau fungsionalisasi Seng Oksida dalam bentuk nanomaterial untuk ditingkatkan sifat dan properti nya. Salah satu fungsionalisasi yang dilakukan adalah dengan mendoping Seng Oksida dengan berbagai logam transisi (Morkoç & Özgür, 2009).

Fungsionalisasi Seng Oksida dengan doping terus berkembang. Salah satu bahan doping yang dapat digunakan untuk mendoping Seng Oksida adalah Cobalt. Cobalt (Co) adalah logam golongan VIII-B dengan atomic number 27 (Davis, 2000). Cobalt sebagai doping dapat meningkatkan sifat dan property seng oksida. Property yang dapat ditingkatkan diantaranya property optic, magnetic, dan anti bakterial. Upaya untuk meningkatkan properti optic Seng Oksida membuat bahan seng oksida lebih optimal apabila digunakan sebagai berbagai bahan perangkat optic. Selain itu, sifat



dan properti seng oksida juga bergantung pada struktur, ukuran, dan morfologi. Oleh karena itu proses sintesis seng oksida menjadi lebih penting supaya didapatkan ZnO nanopartikel dengan sifat dan property yang diinginkan.

ZnO atau seng oksida dapat didoping karena adanya kecacatan berupa kekosongan pada Zn *sites* dan O *sites*. Unsur doping akan menempati Zn *sites* atau O *sites*. Cobalt sebagai bahan doping nanopartikel ZnO (seng Oksida) mampu mempengaruhi energy gap ZnO dan ukuran kristal. Penelitian ZnO didoping Cobalt salah satunya dilakukan oleh Azab dkk (2019) dengan mendoping ZnO dengan cobalt menggunakan variasi konsentrasi $Zn_{1-x}Co_xO$ ($0.0 \leq x \leq 0,07$) dengan metode sol-gel. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa ukuran kristalnya menurun seiring meningkatnya konsentrasi kobalt yang diberikan. Hal yang sama juga terjadi pada band gap yang semakin menurun seiring bertambahnya konsentrasi doping. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa pemberian doping hingga konsentrasi 0,07 tidak mengubah struktur kristal ZnO. Penelitian yang dilakukan oleh Fabbiyoladkk (2015) juga menunjukkan hal yang sama dengan variasi $Zn_{1-x}Co_xO$ ($0.0 \leq x \leq 0,07$) menggunakan metode kopresipitasi.

Devi dan Velu (2016) telah melakukan penelitian dengan metode kopresipitasi namun hanya dengan dua variasi yaitu ZnO murni dan dengan doping cobalt 0,005 M. Penelitian ini menunjukkan hal yang sama dimana penambahan Co mengakibatkan berkurangnya ukuran partikel ZnO, namun nilai energy gap mengalami peningkatan. Peningkatan energy gap ini dapat terjadi karena pengaruh lingkungan dan perlakuan saat dilakukan sintesis. Mereka mengatakan bahwa peningkatan band gap ini dapat dijelaskan menggunakan Burstein-Moss Effect.

Penelitian-penelitian yang telah menunjukkan bahwa doping terhadap ZnO (Seng Oksida) menggunakan cobalt dapat mempengaruhi sifat-sifat Seng Oksida. Salah satu sifat yang dipengaruhi adalah sifat optic seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Sifat optic juga dipengaruhi oleh struktur dan morfologinya yang terpengaruh juga dengan adanya doping cobalt. Oleh karena itu, untuk membuktikan teori dan mengkaji pengaruh

doping cobalt terhadap sifat optic serta karakteristik Seng Oksida dilakukan studi literatur ini.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang ingin dipecahkan dalam penelitian ini diantaranya:

1. Bagaimana pengaruh doping kobalt ke dalam nanopartikel ZnO terhadap struktur kristal ZnO?
2. Bagaimana pengaruh doping kobalt ke dalam nanopartikel ZnO terhadap sifat optic nanopartikel ZnO?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam rencana penelitian ini yaitu :

1. untuk mengetahui bagaimana doping cobalt dapat memengaruhi struktur kristal termasuk didalamnya ukuran partikel dan morfologinya.
2. untuk mengetahui sifat optik ZnO doping kobalt.

1.4 Fokus Penelitian

Pola pada struktur, morfologi dan sifat optik yang terjadi pada ZnO yang telah didoping dengan cobalt.

1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang struktur kristal termasuk morfologi dari ZnO yang telah didoping kobalt dari analisis hasil XRD dan SEM dengan sumber data dari artikel rujukan. Selain itu, penelitian ini dapat memberikan informasi tentang sifat optic ZnO yang telah didoping kobalt dari analisis hasil uji Uv-VIS dengan sumber data dari artikel rujukan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian lanjutan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

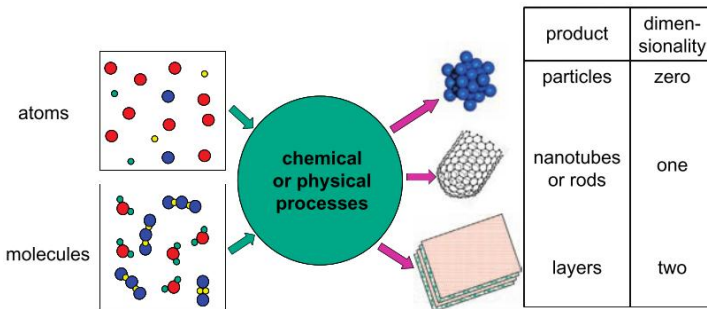


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nanomaterial

Ukuran material dewasa ini semakin krusial karena pengaruhnya pada sifat dan propertiesnya. Semakin kecil suatu material, semakin luas permukaan material tersebut. Luasnya area permukaan akan mengakibatkan semakin luasnya area yang dapat berinteraksi dengan lingkungan yang kemudian berpengaruh pada sifat dan propertiesnya. Oleh karena itu nanomaterial saat ini sangat populer untuk dikembangkan. Nanomaterial adalah material yang memiliki ukuran dibawah 100 nm (Vollath, 2013).

Nanomaterial difabrikasi atau disintesis menggunakan metode Top-down (fisika) dan Bottom Up (kimia). Metode Top-Down dilakukan secara fisika yaitu membuat material berukuran besar menjadi berukuran nano meter dengan cara diberi perlakuan mekanik (*grinding*). Metode bottom-up dilakukan secara kimia dengan menumbuhkan atom dan molekul menjadi senyawa berukuran nanometer (Gambar 2.1). Proses design, fabrikasi, dan penerapan struktur nano (material nano) serta pemahaman mengenai hubungan antara sifat dengan dimensi material ini disebut sebagai nanoteknologi (Cao, 2004).



Gambar 2. 1 Skema bentuk-bentuk nanomaterial hasil sintesis menggunakan metode *bottom-up*

(Vollath, 2013)

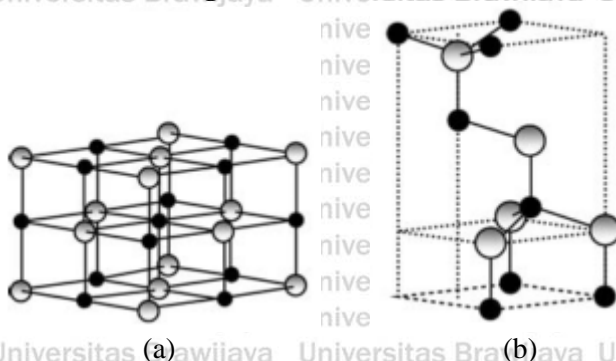
Hasil sintesis nanomaterial dapat berupa partikel, nanotube atau nanorod, dan lapisan (Gambar 2.1). Nanopartikel merupakan nanomaterial yang memiliki nol dimensi sehingga sering disebut

Zero-Dimensional Nanomaterial atau dot nanomaterial. *Zero-Dimensional Nanomaterial* biasanya berbentuk powder yang ukuran partikel nya dalam skala nanometer. Nanopowder banyak digunakan sebagai matriks untuk bahan komposit baru yang memiliki sifat ketahanan terhadap UV, katalis yang baik, biocompatible untuk tulang sintetis, dan sebagai drug delivery (Bhagyaraj, Oluwafemi, Kalarikkal, dan Thomas, 2018)

2.2 Seng Oksida (ZnO)

Seng Oksida (ZnO) merupakan material semikonduktor logam tipe-n golongan II-VI. Selain itu, ZnO juga merupakan material yang ramah lingkungan dan memiliki kestabilan kimiawi yang baik. ZnO dalam bentuk padat berupa serbuk heksagon dan amorf yang berwarna putih dalam keadaan dingin dan berwarna kuning dalam keadaan panas, serta tidak berbau. ZnO memiliki sifat fotokatalis yang ideal sehingga dapat digunakan sebagai bahan solar sel. ZnO juga dapat dimanfaatkan sebagai *optical coating*, alat-alat elektronik, optoelektronik, UV protection, medium aktif pada laser semikonduktor UV, dan gas sensor. Selain itu, ZnO dapat diaplikasikan pula sebagai material optoelektronik karena cocok pada gelombang pendek (Sutanto & Wibowo, 2015).

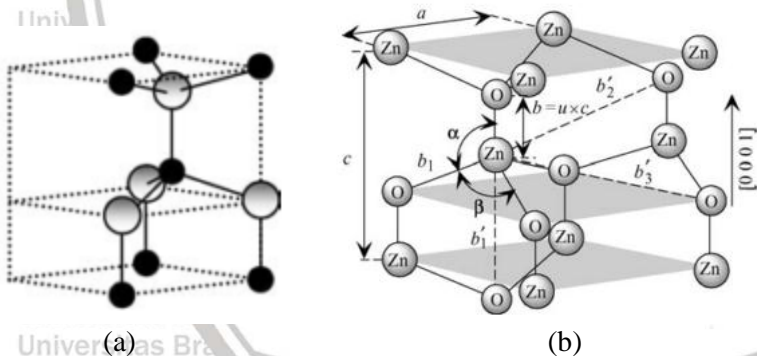
2.2.1 Struktur Kristal Seng Oksida



Gambar 2. 2 Struktur Kristal ZnO (a) cubic rocksalt (b) cubic zinc blende

(Morkoç & Özgür, 2009)

Kristal Seng Oksida memiliki beberapa struktur yaitu hexagonal wurtzite, cubic zinc blende, dan cubic rocksalt. Struktur Kristal ZnO cubic rocksalt dan cubic zincblende dapat dilihat pada Gambar 2.2. Struktur wurtzite akan terbentuk pada kondisi ambient yaitu tekanan normal dan fase termodinamika yang stabil. ZnO akan memiliki struktur zinc blende jika distabilkan dengan penumbuhan pada substart kubik. Keadaan tekanan tinggi dapat membentuk ZnO dengan struktur kristal rocksalt. Struktur ZnO hexagonal wurtzite ditunjukkan oleh Gambar 2.2 (a) dengan menggunakan model batang dan bola serta Gambar 2.2 (b) menunjukkan skematik ZnO struktur wurtzite (Morkoç & Özgür, 2009).



Gambar 2.3 (a) Struktur kristal ZnO hexagonal wurtzite (b) Skematik Struktur ZnO Wurtzite.

(Morkoç & Özgür, 2009)

Struktur wurtzite memiliki unit sel hexagonal dengan a yaitu konstanta kisi dalam bidang dasar dan c merupakan konstanta kisi dalam arah dasar (Gambar 2.2 (b)). Rasio parameter kisi c/a bernilai 1,633 (struktur wurtzite ideal). Parameter u merupakan panjang ikatan sejajar sumbu c dan bernilai 0,375 (struktur wurtzite ideal). Parameter u dibagi dengan c akan menunjukkan panjang ikatan atau jarak tetangga terdekat (b). Jarak tetangga terdekat kedua ditunjukkan oleh b' sedangkan α dan β menunjukkan sudut ikatan yang bernilai $109,46^\circ$ dan bernilai $109,47^\circ$ pada kristal ideal. Parameter kisi ZnO hexagonal wurtzite secara eksperimen memiliki nilai

yang sedikit berbeda dengan kristal ideal dan memiliki deviasi . ZnO hexagonal wurtzite memiliki nilai u dalam range 0,3817-0,3856 dan nilai c/a dalam range 1,593-1,6035 (Jagadish dan Pearton, 2006).

Setiap anion pada struktur kristal cubic zinc blende dan hexagonal wurtzite dikelilingi oleh empat kation pada sudut-sudut tetrahedron. Koordinasi tetrahedral menunjukkan ikatan kovalen sp^3 dan sifat substansial ionic yang dapat meningkatkan bandgap. Koordinasi tetrahedral pada ZnO hexagonal wurtzite juga menunjukkan polaritas yang inheren yang akan berpengaruh pada properties dan sifat dari ZnO. Sifat – sifat yang dipengaruhi polaritasnya diantaranya crystal growth, etching, polarisasi spontan, piezoelektrik dan elektrik (Jagadish dan Pearton, 2006).

2.2.2 Karakteristik dan Properti Zinc Oxide

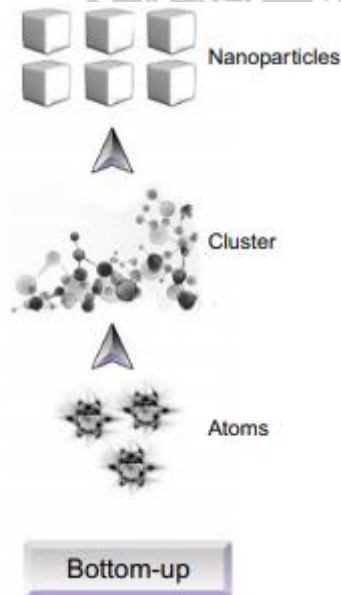
Seng Oksida (ZnO) dalam bentuk partikel memiliki struktur kristal wurtzite. ZnO memiliki lebar bandgap dengan energy gap sebesar 3,37 eV dan eksitasi energy ikat sebesar 60 MeV. Eksitasi ZnO dapat dilakukan pada rentang panjang gelombang cahaya tampak (400-800 nm) dan dapat membuat emisi electron efisien pada rentang panjang gelombang ultraviolet (< 400 nm). ZnO merupakan fotokatalis ideal dan memiliki kapasitas degradasi yang baik. Efisiensi reaksi fotokatalik dipengaruhi oleh luas permukaan yang mengabsorpsi molekul target. Nanopartikel ZnO yang memiliki luas permukaan yang luas akan meningkatkan efisiensi reaksi fotokatalik (Sutanto & Wibowo, 2015). Jagadish dan Pearton (2006) menjelaskan bahwa ZnO merupakan semikonduktor dengan direct bandgap yang dilihat dari pita valensi tertinggi dan pita konduksi terendah yang terdapat pada Γ point $k = 0$.

2.3 Cobalt

Cobalt (Co) adalah logam golongan VIII-B dengan atomic number 27. Cobalt memiliki sifat ferromagnetic pada keadaan temperature ruang. Titik leleh Cobalt pada 1493°C , titik didih adalah 3100°C , dan panas jenis cobalt yaitu $0,414$ kJ/kg pada temperature

ruang. Cobalt menunjukkan struktur kristal hexagonal close-packed (hcp) pada temperature di bawah 417°C . Struktur face-centered cubic terbentuk ketika cobalt berada pada temperature antara 417°C dan titik lelehnya 1493°C . Cobalt banyak digunakan untuk superalloy tahan panas, paduan tahan korosi dan tahan aus, magnet. Beberapa paduan kobalt juga biokompatibel yang mendorong penggunaannya sebagai implant ortopedi. Senyawa kobalt juga diaplikasikan pada non-logam seperti katalis kimia. Kobalt dapat dimanfaatkan sebagai bahan doping bahan semikonduktor ZnO untuk meningkatkann karakteristik dan properti ZnO (Davis, 2000)

2.4 Sintesis Nanopartikel



Gambar 2. 4 Skema pendekatan sintesis nanopartikel metode bottom-up

(Bhagyaraj, Oluwafemi, Kalarikkal, dan Thomas, 2018)

Sintesis nanomaterial secara garis besar diklasifikasikan menjadi dua yaitu metode *Top-down* dan *Bottom-up*. Metode *Top-Down* mensintesis nanomaterial dengan membuat material bulk menjadi kecil dalam ukuran nano. Metode *Bottom-Up* dilakukan dengan menumbuhkan material dari precusornya menjadi material dalam ukuran nano. Metode *Bottom-up* diantaranya adalah Kopresipitasi dan Sol-gel (Bhagyaraj, Oluwafemi, Kalarikkal, dan Thomas, 2018)..

2.4.1 Metode Kopresipitasi



Gambar 2. 5 Skematik proses kopresipitasi sintesis nanopartikel NiO

Metode Kopresipitasi termasuk metode sintesis nanopartikel bottom-up yang diilustrikan seperti pada Gambar 2.4. Sintesis kopresipitasi dari precursor dibantu dengan pelarut. Kopresipitasi merupakan teknik presipitasi logam dalam bentuk hidroksida dari prekursor logam dengan bantuan basa dalam pelarut. Selain itu, biasanya ditambahkan dengan stabilizers untuk menjaga ukuran ukuran partikel. Stabilizers yang biasanya digunakan adalah polyvinyl alcohol, polyvinyl pyrrolidone, dan polyetylon glikol. Sintesis nanopartikel monodispersi dibantu oleh pelepasan anion dan kation terkontrol yang mengatur kinetika nukleasi dan pertumbuhan partikel. Namun, saat ini banyak dilakukan modifikasi terbaru karena kontrol homogenitas kimia dan partikel sulit dilakukan Modifikasi terbaru tersebut dapat berupa aplikasi surfaktan, metode sonokimia, dan presipitasi reaktif grafitasi tinggi. Selain itu, parameter – parameter eksperimen juga dikontrol, seperti konsentrasi, pH, reaktan dan ion, serta suhu. Ukuran partikel bahan yang disintesis secara efisien dapat dikontrol dengan mengatur kecepatan pengadukan. Partikel dengan diameter rata-rata 10 nm dibentuk dengan pengadukan mekanis pada kecepatan 10.000 rpm. Penurunan kecepatan pengadukan menghasilkan ukuran yang lebih besar (Bhagyaraj, Oluwafemi, Kalarikkal, dan Thomas, 2018).

2.4.2 Metode Sol Gel

Sol adalah suspense/ disperse dari partikel berukuran kecil dalam medium larutan dan termasuk sebagai larutan koloid. Gel adalah jaringan solid kontinu tiga dimensi yang keropos dan

dikelilingi oleh fase liquid kontinu. Proses sintesis metode sol-gel melibatkan pengubahan sol menjadi gel secara bertahap hingga hasil yang diinginkan. Proses sol-gel secara umum terdiri dari berikut:

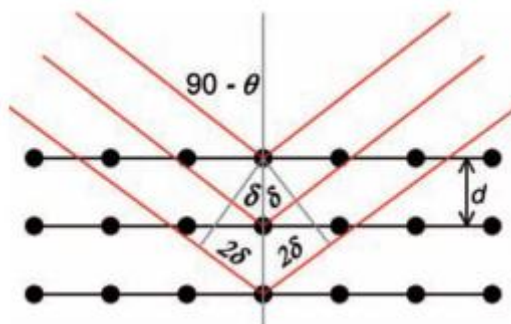
1. hidrolisis prekursor dan memulai reaksi kimia untuk membentuk nanopartikel.
2. Nukleasi dan pertumbuhan partikel karena kondensasi.
3. Penambahan substans yang sesuai dan hasil dalam bentuk gel terbentuk.
4. Material didiamkan, dikeringkan, dan didensifikasi untuk menghasilkan sol-gel.

Proses sol-gel dapat digunakan untuk nanoparticles, nanofiber, nanofilm, aerogel, dan nanoporous. Bahan yang digunakan seperti prekursor, gelatin, gel *ageing*, waktu pengeringan, temperature pengeringan diatur bergantung hasil yang diinginkan (Bhagyaraj, Oluwafemi, Kalarikkal, dan Thomas, 2018).

2.5 Metode Analisa X-Ray Diffraction

Karakterisasi struktur material dapat dilakukan menggunakan difraksi sinar-x. Difraksi sinar-x digunakan untuk mengetahui struktur kristal dan ukuran kristal. Sinar-x merupakan radiasi gelombang elektromagnetik yang memiliki energy tinggi 12,4 keV dan panjang gelombang yang rendah 0,1 nm. Sinar-x dihasilkan oleh tabung sinar-x dengan menggunakan bahan target yang memiliki nomor atom yang besar contohnya tembaga, molybdenum, cobalt, perak, dan krom. Bahan target memiliki nomor atom yang besar karena electron terluarnya lebih mudah berpindah apabila ditumbuk (Sani, 2019).

2.5.1 Prinsip Kerja XRD



Gambar 2. 6 Difraksi bragg pada sudut tertentu

(Vollath, 2013)

Fenomena difraksi sinar-x pertama kali diselidiki oleh Max Von Laue dengan menyorotkan sinar-X pada kepingan kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Pola yang terbentuk pada plat film yang diletakan dibelakang kristal diamati dan Laue mengasumsikan bahwa keteraturan pola pada plat sebagai keteraturan pada struktur kristal. Difraksi sinar-X menggunakan radiasi karakteristik yang memiliki panjang gelombang tertentu. Gambar 2.5 menunjukkan gambar difraksi Bragg ketika sinar -X disorotkan pada sekelompok atom pada bidang atom. Fenomen yang terbentuk adalah difraksi dan interferensi. Sebagian sinar akan didifraksikan oleh bidang atom pada bagian dalam karena panjang gelombang sinar-X lebih kecil daripada jarak atom. Pola interferensi akan ditangkap oleh detector sinar-X (Sani, 2019).

Gelombang sinar -X yang masuk (Gambar 2.5) akan terhambur pada setiap atom dalam kisi specimen dan membentuk gelombang sferis yang saling menginterferensi. Peristiwa interferensi yang terjadi membentuk pola interferensi yang memberikan informasi mengenai susunan atom dalam kisi. Peristiwa yang terjadi mengikuti hukum Bragg:

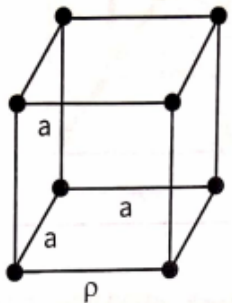
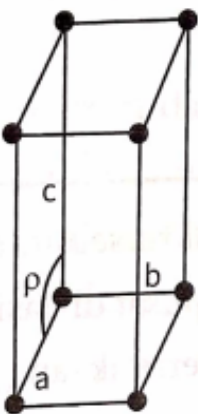
$$\lambda = 2d \sin \theta \quad (2.1)$$

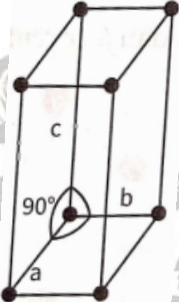
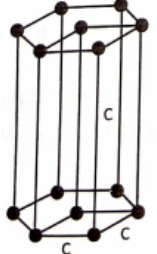
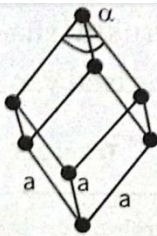
Dimana d adalah jarak antar bidang atomic pada fase kristal, λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan, dan θ adalah sudut yang dibentuk oleh sinar -X dengan bidang atom (Vollath, 2013).

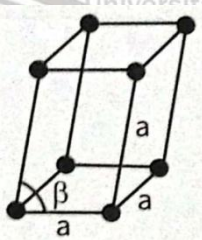
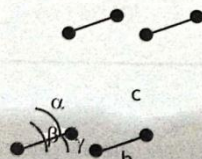
2.5.2 Kristalografi

Atom – atom pada kristal tersusun secara teratur dalam ruang tiga dimensi. Satuan sel atau unit sel dari geometri susunan atom-atom suatu kristal dapat diketahui karena keteraturan tersebut berulang. Susunan atom-atom pada sel dalam kristal dipengaruhi oleh ikatan antaratom yang membentuk kristal tersebut. Struktur kristal suatu material dapat dibagi menjadi tujuh jenis yang dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Sistem Kristal

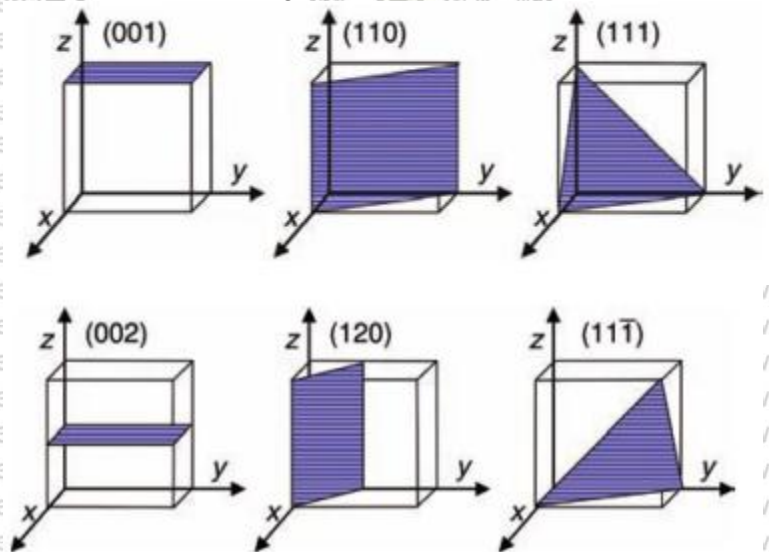
Struktur Kristal	Konstrain	Visualisasi
Kubik	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Tetragonal	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	

Ortorombik	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Heksagonal	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	
Trigonal/ Rombhedral	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	

Monoklinik	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ$ $\beta \neq 90^\circ$	
Triklinik	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	

(Sani, 2019).

Susunan atom pada sel dapat tersusun secara *base centered*, *body centered*, atau *face centered*. Susunan atom atom membentuk unit sel, dan susunan unit sel yang berulang membentuk kristal. Orientasi bidang kristal ditentukan oleh indeks Miller dari bidang tersebut (Sani, 2019).



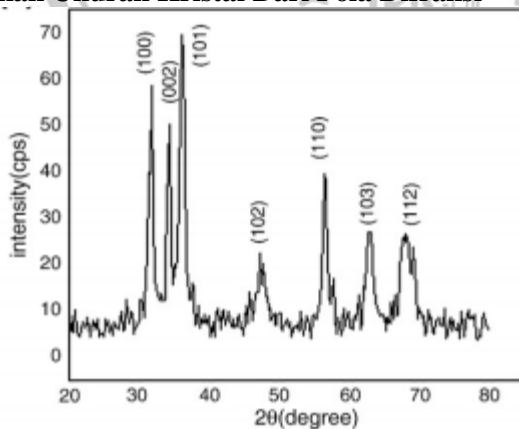
Gambar 2. 7 Bidang kristal dengan indeks Miller yang berbeda pada struktur kristal kubik.

(Vollath, 2013)

Indeks Miller adalah nilai resiprokal dari intersep bidang kisi dengan sumbu system koordinat. Sistem koordinat dinormalisasi sedemikian rupa sehingga mencapai nilai 1 pada konstan kisi a . Huruf h untuk nilai dalam arah x , k pada arah sumbu y , dan i pada arah sumbu z . Indeks miller ditulis dalam bilangan bulat dan ditulis dalam tanda kurung (hkl). Tanda kurang untuk nilai negative ditulis diatas angka (Vollath, 2013).

Bidang yang terbentuk dari susunan atom dan merupakan bidang berulang disebut bidang kristal. Jarak antar bidang dinyatakan dalam simbol huruf d . Jarak antar bidang penting diketahui dalam analisis menggunakan difraksi sinar $-X$. Jarak antar bidang dapat ditentukan jika system kristal suatu bahan diketahui (Sani, 2019).

2.5.3 Menentukan Ukuran Kristal Dari Pola Difraksi



Gambar 2. 8 Pola difraksi ZnO

(Nair, Nirmala, Rekha, dan Anukaliani, 2011)

Posisi puncak difraksi diukur secara akurat dengan difraksi sinar- x . Pergeseran posisi puncak dapat memberikan informasi-informasi yang nantinya dapat dihitung untuk

menentukan perubahan dalam d-spacing. Ukuran kristal yang dianalisis menentukan lebar puncak. Oleh karena itu ukuran kristal dapat ditentukan dari pola difraksi tersebut menggunakan persamaan Scherrer :

$$D = \frac{k \lambda}{B \cos \theta} \quad (2.2)$$

Dimana D adalah ukuran kristal, k merupakan konstanta Scherrer, λ adalah panjang gelombang yang digunakan, B adalah *Full width at Half Maximum* (FWHM), dan θ adalah sudut difraksi (Nair, Nirmala, Rekha, dan Anukaliani, 2011).

2.6 Metode SEM-EDS

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan teknik mikroskopi menggunakan berkas elektron dan lensa magnetic untuk memfokuskan berkas elektron. Lensa magnetic yang digunakan terbuat dari solenoid yang diberi aliran listrik sehingga dapat digunakan untuk membelokkan berkas elektron secara terpusat atau konsentrik. SEM digunakan untuk karakterisasi karena perbesarannya yang tinggi dan resolusinya dapat mencapai nanometer. Selain Morfologi material, komposisi kimia dari material tersebut juga dapat diketahui menggunakan SEM (EDS) (Sani, 2019).

2.6.1 Prinsip Kerja SEM

Berkas elektron pada SEM akan dikontrol oleh lensa magnetic yang terdiri dari dua jenis yaitu lensa kondenser dan lensa objektif. Lensa kondenser dan lensa objektif berfungsi untuk mengurangi diameter crossover atau memfokuskan berkas elektron. Berkas elektron akan melewati lensa kondenser, kemudian melewati lensa objektif untuk difokuskan sebagai probe dengan diameter dalam skala nanometer. Proses scanning dilakukan dengan sistem pembelokan berkas elektron yang dibantu oleh lensa objektif. Berkas elektron sebagai probe akan meraba permukaan sampel dalam garis lurus, kemudian memindahkan posisi probe sehingga seluruh permukaan sampel di scanning. Pembelokan elektron ini dikontrol oleh dua pasang kumparan elektromagnetik (scan coils). Detektor akan mengumpulkan sinyal elektron yang diemisikan oleh sampel, kemudian akan diperkuat dan digunakan untuk pembentukan bayangan

permukaan sampel. Detektor akan mendeteksi elektron terhambur balik dan elektron sekunder yang kemudian merekonstruksi gambar SEM (Sani, 2019).

Elektron yang menumbuk permukaan sampel akan mengalami hamburan elastis dengan inti atom dan hamburan inelastis dengan elektron atom. Hamburan elastis akan menghasilkan elektron terhambur balik, sedangkan hamburan inelastis akan menghasilkan elektron sekunder. Elektron hamburan balik dihamburkan oleh sampel tanpa kehilangan energy yang besar. Probabilitas elektron hamburan balik akan lebih tinggi pada atom – atom yang memiliki nomor atom yang besar. Ketika terjadi hamburan inelastis, elektron dalam sampel akan menyerap energi dari elektron primer (elektron datang) untuk eksitasi dari sampel dan membentuk elektron sekunder (Vollath, 2013).

2.6.2 EDS

Interaksi antara berkas elektron yang bertumbukan dengan sampel pada SEM menyebabkan adanya transfer energy. Oleh karena itu, elektron inti sampel akan mendapat tambahan energy sehingga dapat eksitasi ke kulit dengan tingkat energy lebih tinggi, kemudian akan mengalami peluruhan ke keadaan dasarnya. Saat mengalami peluruhan, elektron akan melepas energinya yang dipancarkan dalam bentuk radiasi sinar-x atau elektron auger. Radiasi sinar-x dapat digunakan untuk mengidentifikasi komposisi kimia sampel menggunakan beberapa teknik dimana salah satunya adalah teknik Energy Dispersive Spectroscopy (EDS). Radiasi yang dipancarkan akan memiliki energy dan panjang gelombang berbeda untuk setiap unsure kimia yang berbeda (Vollath, 2013).

Teknik EDS termasuk kedalam analisis fluoresensi sinar-x. Hal ini karena teknik ini dilakukan dengan mendeteksi radiasi sinar-x akibat peluruhan dimana fenomena radiasi ini dinamakan fluoresensi. Foton sinar-x yang diterima oleh detector akan membangkitkan sejumlah pasangan elektron-hole. Energi rata-rata foton yang diperlukan untuk

membangkitkan pasangan elektron-hole bergantung pada detector yang digunakan. Detektor pada EDS biasanya menggunakan kristal Si (Li) dimana untuk detector ini digunakan energy sekitar 3,8 eV. Energi foton yang semakin besar, akan semakin banyak pasangan hole-elektron yang dibangkitkan. Sinar-x karakteristik dapat dipisahkan berdasarkan tingkat energinya yang sebanding dengan jumlah elektron-hole pada detector. Pasangan elektron hole tersebut akan mengalir sebagai arus dan menghasilkan sinyal listrik yang selanjutnya diperkuat menggunakan amplitudo. Amplitudo tegangan yang dideteksi akan sebanding dengan energy foton sinar-x yang dideteksi. EDS cocok digunakan untuk mendeteksi unsure unsure dengan nomor atom yang kecil (Sani, 2019).

2.7 Metode Spektroskopi UV-Vis

Spektroskopi Uv-Vis merupakan teknik spektroskopi menggunakan spectrum gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang 210 – 900 nm yaitu berupa cahaya ultraviolet dan cahaya. Cahaya UV-Vis. Interaksi cahaya Uv-Vis dengan material dapat berupa pemantulan (refleksi), hamburan (scattering), serapan (adsorsi), pembiasan, transmisi, dan polarisasi. Spektroskopi UV-Vis dilakukan dengan menganalisa absorbansi cahaya ultraviolet dan cahaya tampak yang dilewatkan pada bahan uji dengan cara membandingkan cahaya yang ditransmisikan dengan spectrum yang digunakan. Karakterisasi sifat optic material dapat menggunakan spektroskopi Uv-Vis. Sifat Optik ZnO dikarakterisasi menggunakan spektroskopi Uv-Vis karena eksitasi ZnO dapat dilakukan pada rentang panjang gelombang cahaya tampak (400-800 nm). Selain itu, ZnO membuat emisi electron efisien pada rentang panjang gelombang ultraviolet (< 400 nm) (Sani , 2019)

2.7.1 Prinsip kerja UV-Vis

Komponen yang menyusun spectrometer UV-Vis secara berurutan adalah sumber cahaya, lensa, monokromator, cuvette sampel, detector, amplifier, dan meter/komputer. Cahaya monokromatik dihasilkan oleh sumber cahaya yang telah melewati monokromator. Kemudian sampel dilewati oleh cahay monokromatik. Sampel yang digunakan berbentuk larutan. Cahaya akan berinteraksi dengan material di dalam cuvette. Material yang menyerap cahaya

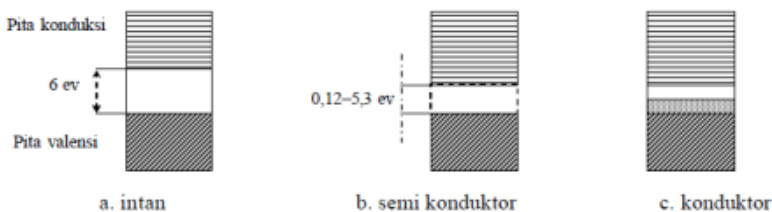
monokromatik yang dileatkan akan mengakibatkan adanya perubahan gerakan muatan di dalam material tersebut dan menyebabkan electron tereksitasi. Elektron yang tereksitasi akan kembali ke keadaan dasarnya dengan adanya penambahan energy. Cuvette yang digunakan akan ikut mengabsorbsi sebagian dan sebagaian akan dipantulkan. Hal ini akan mempengaruhi hasil karakterisasi, sehingga dilakukan pengukuran referensi untuk menghilangkan factor tersebut. Selanjutnya cahaya yang ditransmisikan oleh sampel akan ditangkap oleh detector dan data dari detector diproses di komputer untuk diterjemahkan (Sani, 2019).

Absorbansi suatu cairan dapat ditentukan berdasarkan hukum Bouger-Lambert-Beer yang berlaku hanya untuk cahaya monokromatik. Nilai absorbansi sebanding dengan konsentrasi cairan dan panjang kolom cairan yang dilewati oleh cahaya (Uv-Vis) yang dirumuskan seperti persamaan 2.1.

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \log \frac{100}{T} = k \cdot C \cdot d \quad (2.3)$$

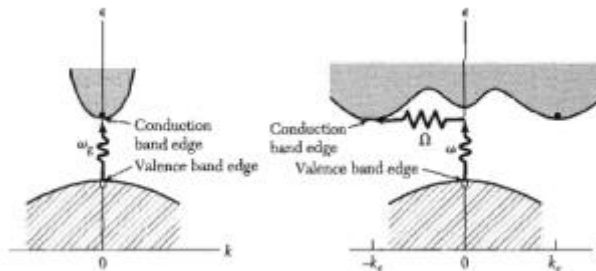
A adalah absorbansi, I_0 adalah intensitas cahaya datang, dan I adalah intensitas cahaya yang ditransmisikan. Transmittansi disimbolkan dengan T , tebal cairan yang dilewati adalah d , konsentrasi larutan adalah C , dan k adalah konstanta yang bergantung pada karakteristik molekul material sampel serta panjang gelombang radiasi Sani (2019).

2.7.2 Energi Gap Semikonduktor



Gambar 2. 9 Celah Pita energi dari bebrapa material

Semikonduktor merupakan zat padat yang memiliki konduktivitas listrik diantara Isolator dan konduktor. Selain sifat listrik nya, perbedaan antara isolator, semikonduktor, dan konduktor dapat dilihat dari lebar antara celah pita valensi dan pita konduksi yang disebut sebagai band gap. Perbandingan jarak kedua pita tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.5. Celah pita (*band gap*) merupakan daerah yang tidak memiliki orbital elektron pemisah elektron-elektron dalam kristal yang diatur dalam pita energy. Energy yang dibutuhkan suatu elektron untuk berpindah dari pita valensi ke pita konduksi disebut sebagai energy gap. Material semikonduktor memiliki band gap yang tidak terlalu jauh jika dibandingkan dengan isolator. Celah pita energy isolator pada Gambar 2.5 ditunjukkan oleh gambar a. intan. Sehingga pada Semikonduktor memungkinkan terjadinya tumpang tindih jika dipengaruhi oleh energy dari luar seperti panas, medan magnet, dan tegangan. Sifat ini lah yang kemudian dimanfaatkan untuk berbagai tujuan (Kittel, 2005).



Gambar 2. 10 Absorpsi foton pada (a) celah pita langsung dan (b) celah pita tidak langsung.

(Kittel, 2005)

Celah pita energy suatu kital dibedakan menjadi dua berdasarkan absorpsi optinya, yaitu celah pita langsung dan celah pita tidak langsung. Ilustrasi celah pita energy dapat dilihat pada Gambar 2.6. Celah pita langsung mengakibatkan absorpsi optic secara langsung dimana energy foton diserap tanpa perubahan momentum. Proses absorpsi optic pada celah pita tidak langsung terjadi secara tidak langsung karena pembentukan elektron dan hole yang dipisahkan oleh vector gelombang (Kittel, 2005)

2.7.3 Penentuan energy Gap Menggunakan Grafik Tauc-

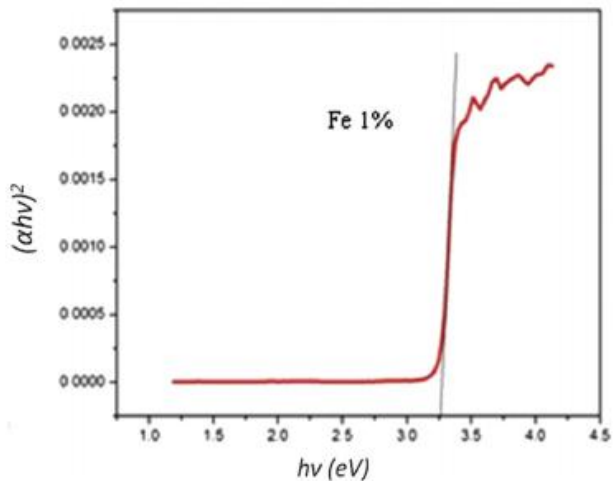
Plot

Energi gap merupakan besarnya energy yang dibutuhkan oleh electron untuk dapat tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi. Semakin lebar band gap antara pita valensi dan pita konduksi semakin tinggi energy gap nya. Band gap dibedakan menjadi dua yaitu direct band gap dan indirect band gap. ZnO memiliki jenis band gap direct band gap. Direct band gap merupakan tempat proses absorpsi optik secara langsung yang artinya energy foton diserap menghasilkan sebuah electron dan hole tanpa mengalami perubahan momentum (Sutanto dan Wibowo, 2015).

Energi gap dihitung menggunakan relasi Tauc klasik yang ditunjukkan pada persamaan 2.2.

$$\alpha h \nu = A (h \nu - E_g)^n \quad (2.4)$$

Koefisien lambert-beer ditunjukkan oleh α dan $h \nu$ adalah energy foton. A merupakan konstanta absorpsi, E_g adalah optical band gap. Nilai n bergantung pada transisi elektronik nya dimana bernilai $\frac{1}{2}$ untuk allowed direct transition, 2 untuk allowed in-direct transition, $\frac{3}{2}$ untuk forbidden direct transition, dan 3 untuk forbidden indirect transition (Devi dan Velu, 2016).



Gambar 2. 11 Contoh Tauc Plot $(\alpha h\nu)^2$ terhadap energi foton untuk zinc oxide yang didoping fe 1%

(Kavle, 2020)

Gambar 2.5 menunjukkan tauc plot dimanana sumbu x merupakan energi foton ($h\nu$) dan sumbu y $(\alpha h\nu)^2$. Energi gap nya dapat dilihat pada grafik dengan jelas yaitu sebesar 3,25 eV. Nilai E_g ini ditunjukkan oleh garis lurus yang menyinggung sumbu x dimana garis tersebut merupakan garis yang menyinggung sepanjang undakan pertama dan pada gambar ditunjukkan dengan garis hitam (Kavle, 2020).

Karakterisasi untuk menentukan energi gap dapat dilakukan dengan menggunakan hasil uji Spektroskopi Difusi Reflektasi UV-Vis. Hasil uji berupa data reflektansi sehingga untuk mempermudah menentukan energi gap digunakan persamaan Kubelk-Munk. Persamaan Kubelk-Munk yang berhubungan dengan pita energi optikal adalah :

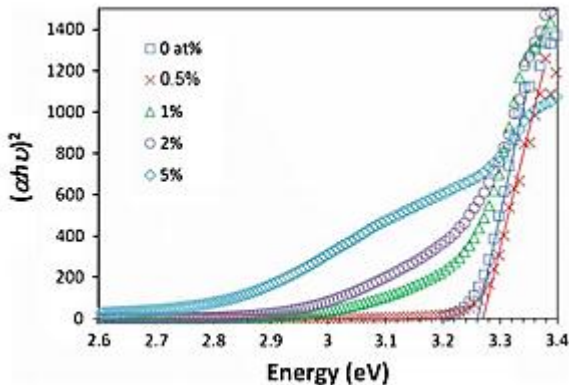
$$h\nu F(R_{\infty}) = A(h\nu - E_g)^n \quad (2.5)$$

dimana h adalah konstanta Planck, ν adalah frekuensi vibrasi, E_g adalah pita optikal energi gap, dan A adalah konstanta absorptansi. $F(R_{\infty})$ ditentukan dengan persamaan Kubel-Munk :

$$F(R_{\infty}) = \frac{(1-R_{\infty})^2}{2R_{\infty}} \quad (2.6)$$

$$F(R_{\infty}) = \frac{K}{S} \quad (2.7)$$

R_{∞} adalah reflektansi dari layer yang berupa ketebalan tak terhingga yang terus meningkat, terjadi pada powder dengan ketebalan dalam millimeter. K adalah absorptansi dan S adalah koefisien hamburan. Untuk mendapatkan energy gap digunakan Tauc plot dari persamaan Kubelk-Munk yang berhubungan dengan energy gap (Gambar 2.12) (He, Ton-That, Tang, dan Philips, 2013)



Gambar 2. 12 Grafik Tauc-plot menggunakan persamaan Kubelk-Munk

(He, Ton-That, Tang, dan Philips, 2013)

BAB III METODE PENELITIAN

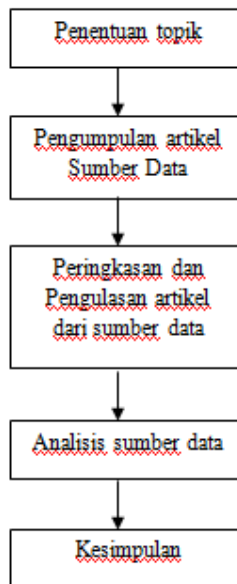
1.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan adalah studi literature. Penelitian dilakukan dengan mengkasifikasi, meringkas, dan menganalisis secara kritis hasil penelitian peneliti lain yang diterbitkan dalam bentuk artikel pada jurnal internasional.

1.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November tahun 2020 sampai bulan Januari tahun 2020 di kediaman peneliti yang bertempat di Cintamanik RT 01, RW 05, Kecamatan Bumijawa, Kabupaten Tegal, Jawa Tengah.

1.3 Tahapan Penelitian



Gambar 3. 1 Tahapan Umum Penelitian

1.4 Artikel Rujukan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah rujukan berupa jurnal hasil penelitian mengenai nanopartikel ZnO. Pustaka yang dirujuk merupakan artikel ilmiah bereputasi dan memiliki topik yang relevan dengan penelitian ini. Berikut adalah pustaka berupa jurnal bereputasi/ internasional dari data yang akan dianalisis:

1. Studying the Effect of Cobalt Doping on Optical and Magnetic Properties of Zinc Oxide Nanoparticles (Silicon; Springer; 2019).
2. Synthesis, structural and optical properties of pure ZnO and Co doped ZnO nanoparticles prepared by the co-precipitation method (J theor Appl Phys; Springer; 2016).
3. Synthesis of Co-doped ZnO nanoparticles via co-precipitation: Structural, optical and magnetic properties (Powder Technology; Elsevier; 2015).
4. Structural, optical, photo catalytic and antibacterial activity of ZnO and Co doped ZnO nanoparticles (Material Letters; Elsevier; 2011)

Tabel 3.1 Daftar Artikel Referensi

Judul Artikel	Sitasi	Sintesis Metode	Sifat yang akan dianalisis
Studying the Effect of Cobalt Doping on Optical and Magnetic Properties of Zinc Oxide Nanoparticles	(Azab, Esmail, dan Abdelamksoud, 2019)	Sol-gel	- <i>Structural properties</i> (XRD, SEM) -Sifat Optik (UV-Vis)

Synthesis, structural and optical properties of pure ZnO and Co doped ZnO nanoparticles prepared by the co-precipitation method	(Devi dan Velu, 2016)	kopresipitasi	- <i>Structural properties</i> (XRD, SEM) -Sifat optic (UV-Vis)
Synthesis of Co-doped ZnO nanoparticles via co-precipitation: Structural, optical and magnetic properties	(Fabbiyola dkk, 2015)	kopresipitasi	- <i>Structural properties</i> (XRD, SEM) -Sifat optic (UV-Vis)
Effect of low Co-doping on structural, optical, and magnetic performance of ZnO nanoparticles	(P. Singh, Aman, K. Singh, dan Roy, 2020)	Solution Method	- <i>Structural properties</i> (XRD, SEM) -sifat optic (UV-Vis)

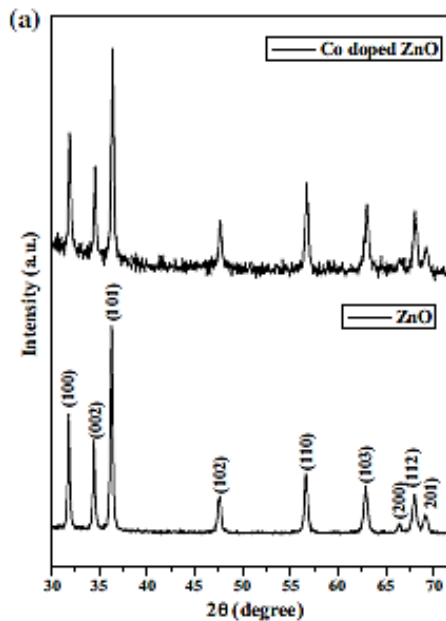
Effect of cobalt doping on optical, magnetic and photocatalytic properties of ZnO nanoparticles	(Pan, Zhnag, Hu, dan Xie, 2020)	kopresipitas i	- <i>Structural properties</i> (XRD , SEM) -Sifat Optik (UV-Vis)
---	---------------------------------	----------------	---

BAB IV

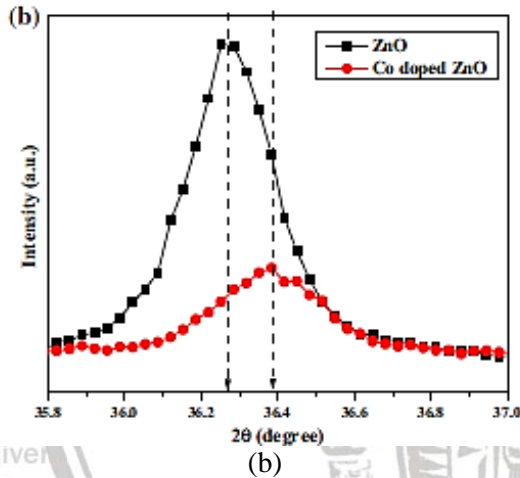
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Struktur

Analisis struktur pada studi literatur ini menggunakan data yang diambil dari lima artikel yang telah dipilih. Data yang diambil merupakan hasil dari karakterisasi menggunakan XRD yang ditampilkan dalam bentuk grafik 2 θ terhadap intensitas. Data yang dipilih bersumber dari Devi dan Velu (2016), Fabbiyola dkk (2015), Azab dkk (2019), Pan dkk (2020), dan Singh (2020). Grafik 2 θ terhadap intensitas dari ZnO dan ZnO doping cobalt ditunjukkan oleh gambar 4.1, gambar 4.2, gambar 4.3, gambar 4.4, dan gambar 4.5. Analisis grafik 2 θ terhadap intensitas dilakukan untuk mengetahui struktur dari nanopartikel ZnO murni dan nanopartikel ZnO yang telah didoping menggunakan Co. Data yang didapat dibandingkan dengan data *Joint Committee on Powder Diffraction Standard* (JCPDS) untuk mengetahui struktur kristalnya.

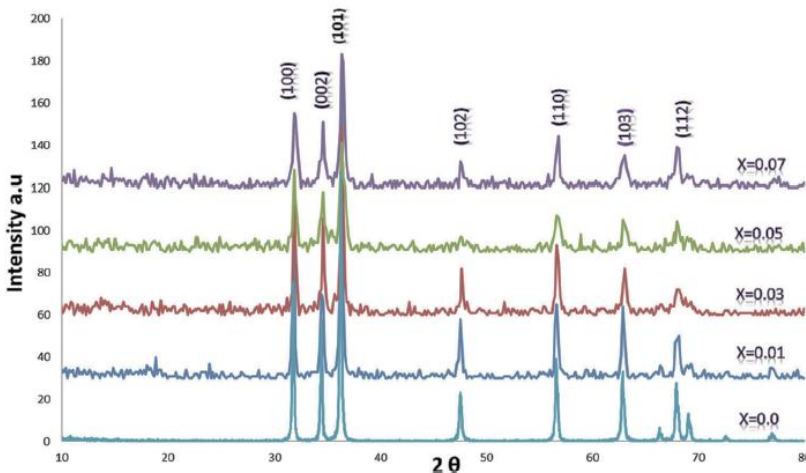


(a)



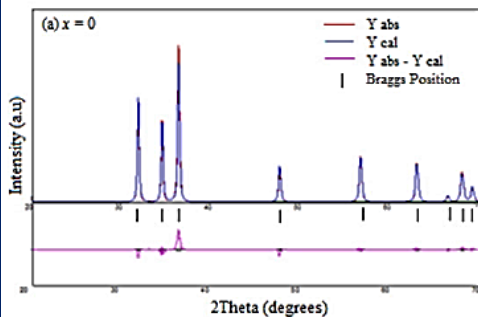
Gambar 4. 1 (a) Grafik pola XRD Nanopartikel ZnO murni dan nanopartikel ZnO didoping Cobalt (b) Grafik pola XRD diperbesar pada 2θ 36.8° - 37.0°

(Devi dan Velu, 2016)

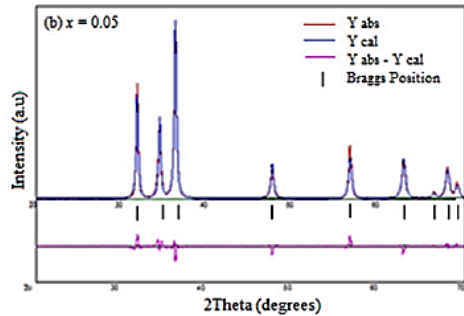


Gambar 4. 2 Grafik pola XRD nanopartikel ZnO didoping cobalt $x = 0.0$, $x = 0.01$, $x = 0.03$, $x = 0.05$, dan $x = 0.07$.

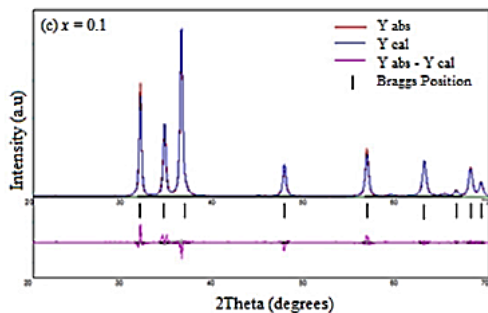
(Azab dkk, 2019)



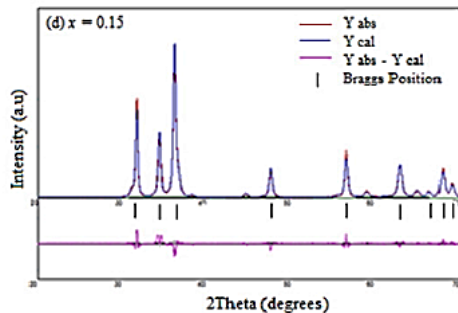
(a)



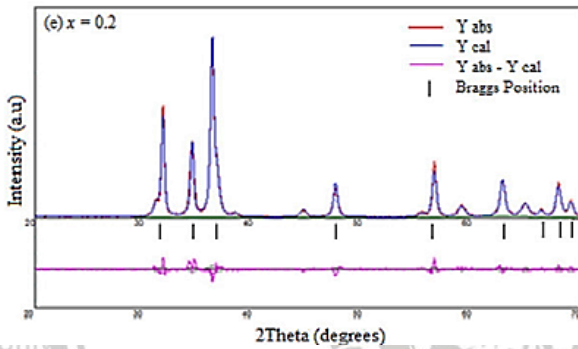
(b)



(c)



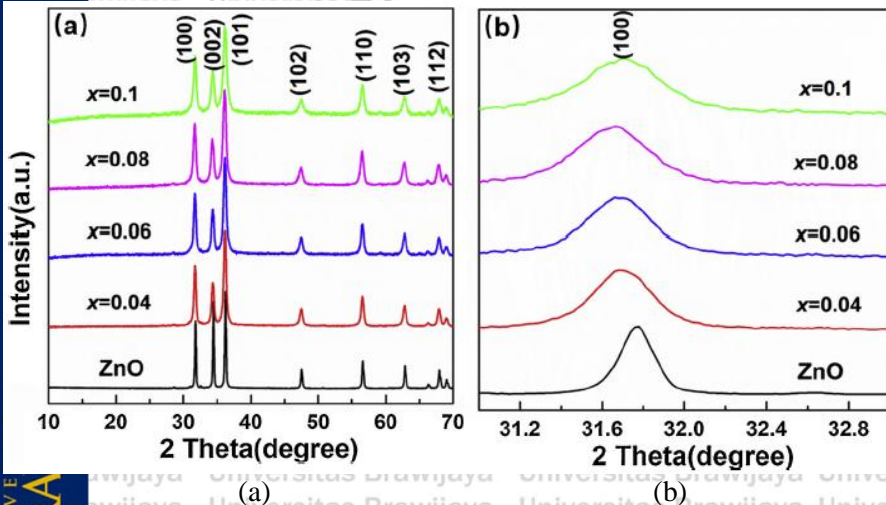
(d)



(e)

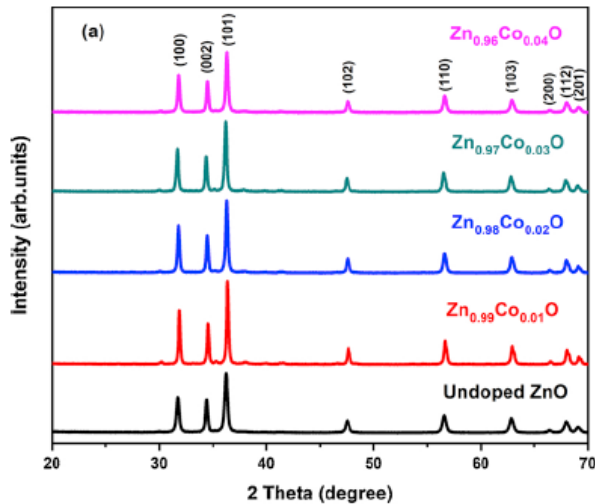
Gambar 4.3 Grafik pola XRD nanopartikel ZnO didoping cobalt (a) $x = 0.0$ (b) $x = 0.05$ (c) $x = 0.10$ (c) $x = 0.15$ (e) $x = 0.07$

(Fabbiyola dkk, 2015)



Gambar 4.4 (a) Grafik pola XRD nanopartikel ZnO didoping cobalt $x = 0.0$, $x = 0.04$, $x = 0.06$, $x = 0.08$, $x = 0.1$ (b) Grafik pola XRD diperbesar pada 2θ 31.2° - 32.8° .

(Pan dkk, 2020)



Gambar 4. 5 Grafik pola XRD nanopartikel ZnO didoping cobalt $x = 0.0$, $x = 0.01$, $x = 0.2$, $x = 0.03$, $x = 0.04$

(Singh dkk, 2020)

Data dari Devi dan Velu (2016) menggunakan dua sampel uji yaitu Nanopartikel ZnO murni dan ZnO yang telah didoping dengan cobalt sebesar 5%. Data ini menunjukkan bahwa ZnO murni maupun ZnO yang telah didoping Cobalt memiliki struktur yang sama yaitu hexagonal wurtzite. Hal ini diketahui dengan membandingkan data tersebut dengan data JCPDS card no: (79-2205). JCPDS card no: (79-2205) sebagai data perbandingan dan data angka intensitas dan 2θ yang dapat dilihat pada lampiran. Gambar 4.1 (b) menunjukkan perbesaran dari grafik pada bidang hkl 101. Dari gambar perbesaran ini dapat diamati bahwa intensitas pada nanopartikel ZnO yang telah dioping dengan Cobalt mengalami penurunan namun mengalami pelebaran pada FWHM.

Lima sampel uji digunakan pada data dari fabbiyola dkk (2015). Sampel tersebut berupa Nanopartikel ZnO murni, dan Nanopartikel ZnO yang telah didoping menggunakan Cobalt sebesar 5%, 10%, 15% dan 20%. Kelima data menunjukkan bahwa struktur Kristal yang dimilikinya adalah hexagonal wurtzite. Nanopartikel

ZnO murni maupun yang telah didoping dengan cobalt memiliki struktur Kristal yang sama. Data tersebut dibandingkan dengan data Standard JCPDS Card No. 36-1451 sehingga dapat diketahui struktur kristalnya.

Data pada Azab dkk (2019) menggunakan lima sampel uji yaitu, Nanopartikel ZnO murni, Nanopartikel ZnO doping cobalt sebesar 1%, 3%, 5%, dan 7%. Data hasil Difraksi Sinar-X tersebut dibandingkan dengan data JCPDS card no. 75-0576 dan ditunjukkan bahwa kelima sampel memiliki struktur yang sama yaitu hexagonal wurtzite. Jika dilihat pada grafik, Intensitas pada beberapa bidang hkl pada sampel yang telah didoping dengan cobalt menunjukkan adanya sedikit perubahan pada intensitas dan FWHM nya. Intensitas pada bidang hkl 100, 002, dan 101 semakin berkurang seiring bertambahnya bahan doping. Intensitas pada bidang hkl 110, 103, dan 112 mengalami penurunan setelah diberi doping cobalt namun tidak terjadi secara prespektif. Sedangkan pada bidang hkl 102 intensitasnya bertambah pada doping 2%, sedangkan pada presentase doping yang lain mengalami penurunan.

Data dari Pan dkk (2020) menggunakan lima sampel uji yaitu, Nanopartikel ZnO murni, Nanopartikel ZnO doping Cobalt sebesar 4%, 6%, 8%, dan 10%. Identifikasi hasil Difraksi sinar-x tersebut dilakukan dengan membandingkan dengan data JCPDS Card no. 36-1451. Hasil identifikasi menunjukkan bahwa kelima data memiliki struktur Kristal hexagonal wurtzite. Hal ini menunjukkan bahwa ZnO yang telah didoping tetap memiliki struktur yang sama dengan ZnO murni. Gambar 4.4 (b) menunjukkan grafik pada hkl 100 dari lima data sampel. Dari gambar terlihat adanya pelebaran FWHM setelah diberi doping pada Nanopartikel ZnO. Selain itu teramati pula bahwa puncaknya sedikit bergeser setelah Nanopartikel ZnO murni didoping dengan cobalt.

Jumlah sampel uji yang digunakan pada data dari Singh dkk(2020) terdapat lima sampel yaitu, nanopartikel ZnO murni, Nanopartikel ZnO didoping Cobalt sebesar 1%, 2%, 3%, dan 4%. Data hasil Difraksi Sinar-X yang ditampilkan dibandingkan dengan data JCPDS card no. 36-1451. Hasil analisis menunjukkan bahwa kelima data memiliki struktur hexagonal wurtzite. Hal ini menunjukkan bahwa ZnO murni maupun yang telah didoping menggunakan cobalt memiliki

struktur yang sama yaitu hexagonal wurtzite. Gambar 4.5 (b) menunjukkan gambar grafik yang diperbesar pada data dhkl 101 dimana terlihat bahwa puncak terlihat adanya sedikit perubahan setelah ZnO didoping dengan cobalt.

Tabel 4.1 Parameter Kisi

No.	Sumber Data	Sintesis Metode	Konsentrasi Cobalt	a (Å)	c (Å)	Parameter Kisi (c/a)
1.	Devi dan Velu (2016)	Kopresipitasi	0	3.2503	5.2081	1.6023
			0.05	3.2405	5.1928	1.6025
2.	fabbiyola dkk (2015)	Kopresipitasi	0	3.2507	5.2075	1.6019
			0.05	3.2509	5.2080	1.6020
			0.1	3.2516	5.2082	1.6017
			0.15	3.2522	5.2103	1.6020
			0.2	3.2529	5.2110	1.6019
3.	Azab dkk (2019)	Sol-gel	0	3.253	5.211	1.6019
			0.01	3.247	5.201	1.6017
			0.03	3.245	5.200	1.6024
			0.05	3.243	5.222	1.6020
			0.07	3.240	5.185	1.6003
4.	Pan dkk (2020)	kopresipitasi	0	3.251	5.206	1.6013
			0.04	3.257	5.216	1.6014
			0.06			
				3.261	5.222	1.6013



5.	Singh dkk (2020)	Kopresipitasi	0.08	3.261	5.230	1.6038
			0.1	3.257	5.222	1.6033
			0	3,254	5,212	1.6017
			0.01	3,24	5,196	1.6037
			0.02	3,248	5,204	1.6022
			0.03	3,258	5,218	1.6015
			0.04	3,246	5,202	1.6025

Identifikasi struktur Kristal nanopartikel dapat dilakukan pula dengan mencari tahu parameter kisinya. Parameter kisi didapatkan dengan membandingkan nilai c yang merupakan konstanta kisi dalam arah dasar dan a yang merupakan konstanta kisi dalam bidang dasar. Parameter kisi ZnO hexagonal wurtzite secara eksperimen memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan ZnO hexagonal wurtzite ideal. Parameter kisi ZnO hexagonal wurtzite secara eksperimen memiliki nilai parameter kisi (c/a) dalam range 1,593-1,6035 (Jagadish dan Pearton, 2006). Nilai c dan a diketahui dari hasil uji menggunakan difraksi sinar-X. Tabel 4.1 menunjukkan data parameter kisi dari setiap sampel dari semua data sumber.

Data dari Devi dan Velu (2016) menunjukkan bahwa Nanopartikel ZnO murni dan yang telah didoping cobalt memiliki struktur hexagonal wurtzite. Hal ini dikarenakan nilai parameter kisinya masih dalam range yang telah disebutkan oleh Jagadish dan Parton (2009). Data ini sama dengan data grafik 20 terhadap intensitas yang menunjukkan bahwa kedua sampel memiliki struktur kristal yang sama yaitu hexagonal wurtzite. Data yang berasal dari empat sumber lain juga menunjukkan hal yang sama, baik nanopartikel ZnO murni maupun ZnO didoping cobalt memiliki struktur yang sama yaitu hexagonal wurtzite. Hasil analisis ini mendukung dari analisis

sebelumnya yang menggunakan data grafik 2 θ terhadap intensitas. Rangkuman dari hasil analisis terhadap struktur kristal Nanopartikel ZnO murni dan ZnO yang didoping dengan cobalt dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Cristallite Size (D) juga dapat diketahui dari hasil perhitungan dengan persamaan scherrer menggunakan data hasil dari Difraksi Sinar-X. Ukuran kristal dianalisis untuk mengetahui pengaruh dari doping cobalt terhadap nanopartikel ZnO, karena ukuran kristalit dapat berpengaruh terhadap sifat dan properti bahan. Data ukuran kristal dari Nanopartikel ZnO murni dan Nanopartikel ZnO didoping Cobalt dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.2. *Cristallite Size*

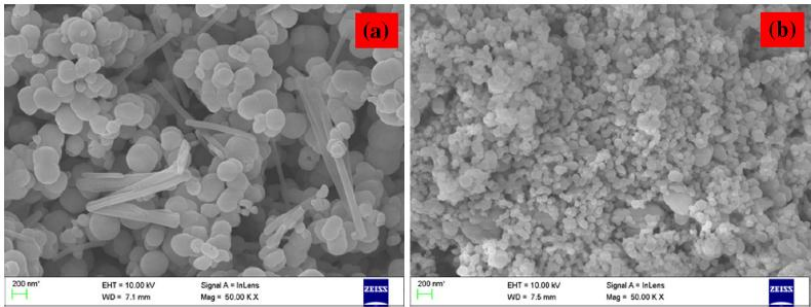
No.	Sumber Data	Sintesis Metode	Konsentrasi Cobalt	<i>Cristallite Size</i> \bar{D} (nm)
1.	Devi dan Velu (2016)	Kopresipitasi	0	35.277
			0.05	28.883
2.	fabbiyola dkk (2015)	Kopresipitasi	0	40
			0.05	39
			0.1	37
			0.15	27
			0.2	25
3.	Azab dkk (2019)	Sol-gel	0	38
			0.01	34.9
			0.03	23.9
			0.05	17.4
			0.07	13.9
4.	Pan dkk (2020)	kopresipitasi	0	42.90
			0.04	27.17
			0.06	22.11
			0.08	18.71
			0.1	17.38

5	Singh dkk (2020)	Kopresipitasi	0	42.83
			0.01	36.54
			0.02	32.05
			0.03	31.80
			0.04	30.20

Cristallite Size (D) dari Devi dan Velu (2016) menunjukkan bahwa *Cristallite Size* (D) berkurang setelah didoping dengan cobalt. Data dari Azab dkk (2019), Fabbiyola dkk (2016), dan Pan dkk (2020) juga menunjukkan bahwa setelah didoping cobalt ukuran kristalit nya semakin berkurang dan semakin bertambahnya konsentrasi doping semakin berkurang pula ukuran kristalite nya. Data dari Singh dkk (2020) menunjukkan hal serupa bahwa ukuran kristalit nanopartikel ZnO murni dan yang telah didoping menunjukkan perbedaan. Nanopartikel ZnO murni memiliki ukuran kristalit yang lebih kecil , dan setelah didoping dengan cobalt ukuran kristalnya semakin berkurang seiring bertambahnya jumlah doping.

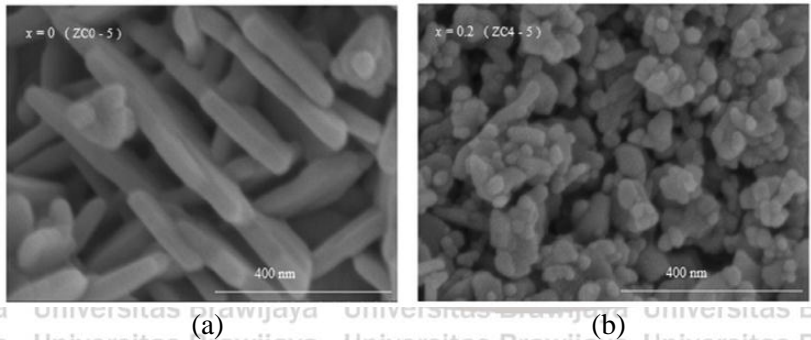
4.2 Analisis Morfologi

Analisis morfologi Nanopartikel ZnO murni dan Nanopartikel ZnO didoping Cobalt menggunakan hasil uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Transmission Electron Microscopy* (TEM). Sumber data yang digunakan berasal dari lima sumber sebelumnya yang digunakan pada analisis struktur yaitu Devi dan Velu (2016), Fabbiyola dkk (2015), Azab dkk (2019), Pan dkk (2020), dan Singh (2020). Hasil SEM dan TEM akan menunjukkan bentuk partikel ZnO murni dan ZnO yang telah didoping cobalt. Selain untuk analisis bentuk morfologi dari partikel, Hasil uji SEM dan TEM dapat digunakan pula untuk menganalisis ukuran partikel.



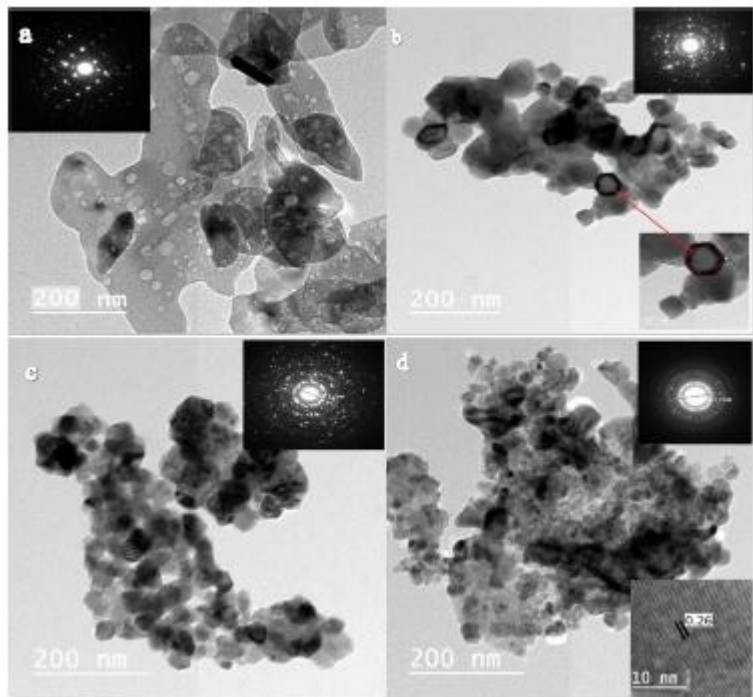
(a) (b)
Gambar 4. 6 Gambar SEM (a) nanopartikel ZnO murni (b) nanopartikel ZnO didoping Cobalt $x = 0.05$.

(Devi dan Velu, 2016)



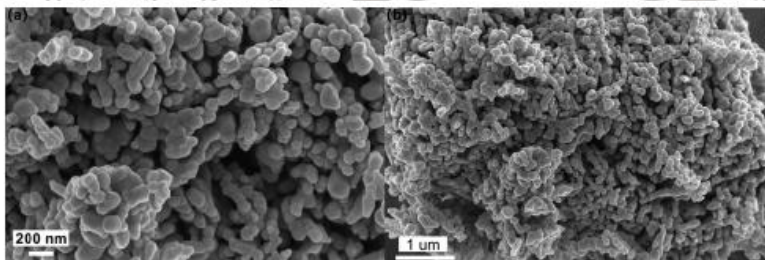
(a) (b)
Gambar 4. 7 Gambar SEM (a) nanopartikel ZnO murni (b) nanopartikel ZnO didoping Cobalt $x = 0.2$

(fabbiyola dkk, 2015)



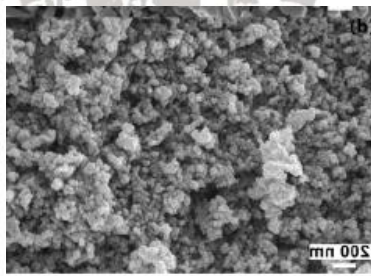
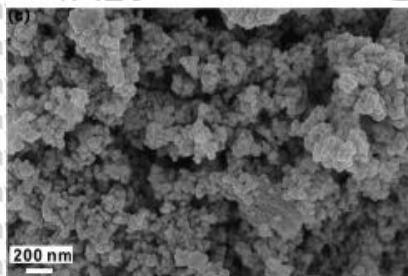
Gambar 4. 8 Gambar micrograph TEM nanopartikel ZnO didoping Cobalt $\text{Zn}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}$, ($0.0 \leq x \leq 0.07$)

(Azab dkk, 2019)



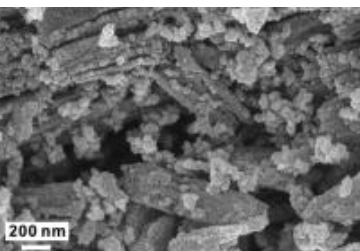
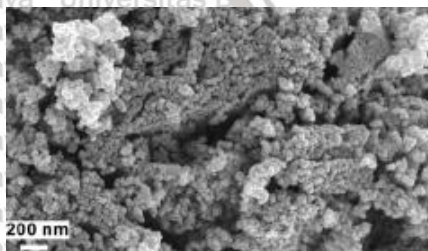
(a)

(b)



(c)

(d)

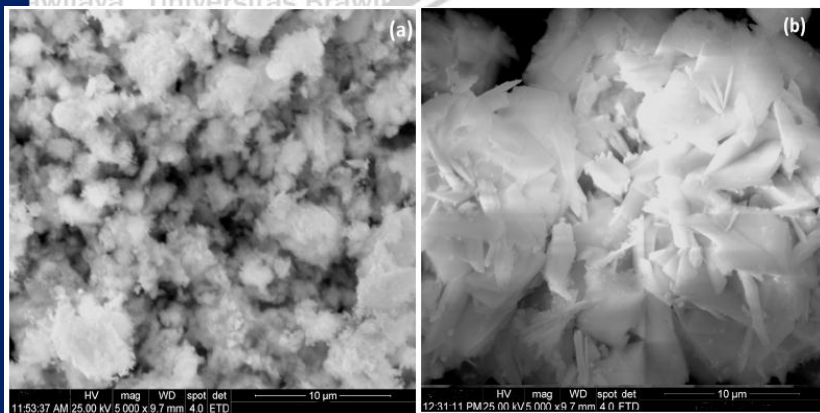


(e)

(f)

Gambar 4. 9 Gambar SEM nanopartikel ZnO didoping Cobalt (a) dan (b) $x =$ 0.0 (c) 0.04 (d) 0.06 (e) 0.08 (f) 0.1

(Pan dkk, 2020)



(a)

(b)

Gambar 4. 10 Gambar SEM (a) nanopartikel ZnO murni (a) nanopartikel ZnO didoping Cobalt x = 0.01

(Singh dkk, 2020)

Hasil uji SEM dari Devi dan Velu (2016) ditunjukkan oleh Gambar 4.6. Hasil SEM dari Nanopartikel ZnO murni menunjukkan bahwa partikel teramati dalam bentuk rod dan sphere. Nanopartikel ZnO didoping Cobalt teramati dalam bentuk sphere. Suatu partikel dikategorikan dalam bentuk rod apabila memiliki penampang melintang lingkaran dimana diameternya lebih kecil dari panjangnya dengan perbandingan dua sampai lima dibanding satu. Partikel sphere memiliki diameter yang sama kesegala arah, memiliki simetri rotasi tak terhingga, dan memiliki permukaan yang halus, namun pada keadaan sebenarnya apabila memiliki deviasi diameter sebesar 5% masih dianggap sebagai partikel spherical (Merkus, 2008).

Hasil Uji SEM fabbiyola dkk (2015) yang dapat dilihat pada Gambar 4.7 menunjukkan bahwa pada nanopartikel ZnO murni teramati dalam bentuk rod dan pada Nanopartikel ZnO didoping Cobalt teramati nanopartikel dalam bentuk sphere. Gambar hasil uji SEM Azab dkk (2019) ditunjukkan pada Gambar 4.8. Gambar Hasil uji SEM tersebut menunjukkan Nanopartikel ZnO murni teramati dalam

bentuk rod dan setelah didoping cobalt teramati dalam bentuk sphere. Nano rod dan sphere teramati pada Nanopartikel ZnO murni dari Pan dkk (2020), Sedangkan setelah didoping cobalt didominasi oleh nano sphere. Hasil uji SEM pada Singh (2020) teramati bahwa Nanopartikel ZnO murni memiliki bentuk irregular sedangkan setelah diberi doping cobalt teramati bahwa partikel dalam bentuk irregular plate.

Hasil SEM kemudian dapat dianalisis menggunakan aplikasi image J untuk diketahui ukuran partikelnya. Hasil pengukuran data dari Devi dan Velu (2016) menunjukkan bahwa material mengalami penurunan diameter rata-rata setelah didoping Cobalt. Data dari Fabbiyola dkk (2015) juga menunjukkan hal yang sama dimana penambahan Cobalt sebesar 20% mengurangi ukuran partikel. Pengurangan diameter rata-rata partikel setelah didoping Cobalt juga terjadi pada data dari Azab (2019) dan semakin bertambahnya jumlah doping semakin berkurang pula ukuran partikelnya. Data dari Pan dkk (2020) menunjukkan adanya penurunan ukuran diameter rata-rata setelah nanopartikel ZnO didoping Cobalt dan seakin berkurang seiring bertambahnya jumlah bahan doping Cobalt.

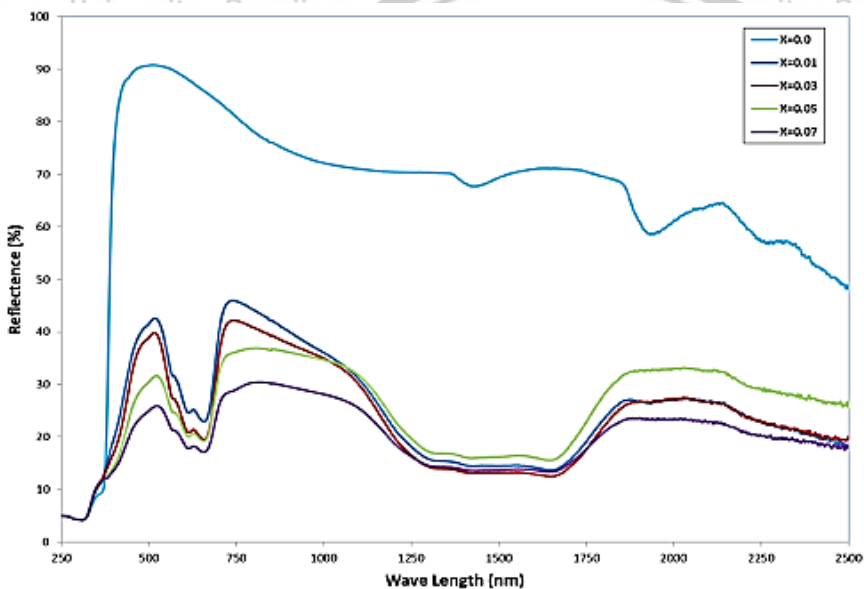
Tabel 4.3 Diameter Partikel Rata-rata

No.	Sumber Data	Sintesis Metode	Konsentrasi Co	Diameter partikel rata-rata(nm)
1.	Devi dan Velu (2016)	Kopresipitasi	0	117.634
			0.05	84.267
2.	fabbiyola dkk (2015)	Kopresipitasi	0	43.111
			0.2	40.853
3.	Azab dkk (2019)	Sol-gel	0	79.588
			0.01	42.7
			0.03	33.548
			0.05	24.037

4.	Pan dkk (2020)	kopresipitasi	0	87.382
			0.04	40.185
			0.06	33.475
			0.08	26.183
			0.1	23.598

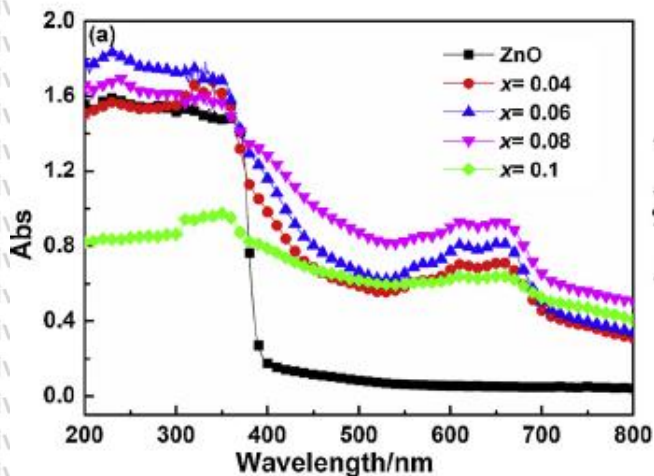
4.3 Analisis Sifat Optik

Data analisis sifat optik berasal dari lima sumber data seperti pada analisis sebelumnya yaitu Devi dan Velu (2016), Fabbiyola dkk (2015), Azab dkk (2019), Pan dkk (2020), dan Singh (2020). Analisis dilakukan menggunakan hasil dari uji spektroskopi UV-Vis pada Devi dan Velu (2016), Pan dkk (2020), dan Singh (2020) sedangkan Fabbiyola dkk (2015) dan Azab dkk (2019) menggunakan alat uji Spektroskopi Reflektansi Difusi UV-Vis. Hasil uji spektroskopi UV-Vis dari Devi dan Velu (2016), Fabbiyola dkk (2015), Pan dkk (2020), dan Singh (2020) dihitung menggunakan persamaan Tauc untuk menentukan energy gap nya dan disajikan dalam grafik Tauc plot. Hasil uji spektroskopi dari Azab dkk (2019) diolah menggunakan persamaan Kubelk-Munk dan disajikan dengan grafik $[h\nu F(R_\infty)]$ terhadap energy foton $h\nu$ untuk menentukan energy gapnya.



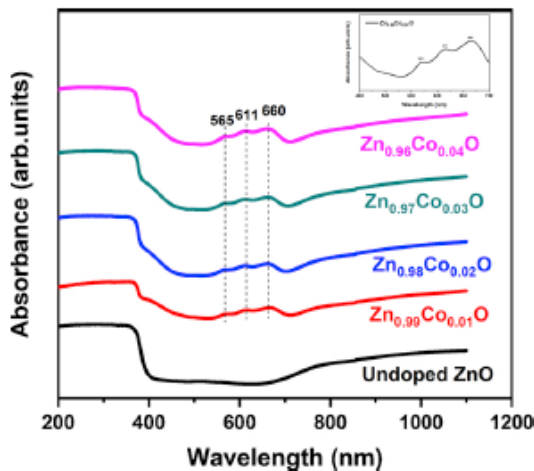
Gambar 4. 11 Grafik Hasil UV-V DRS is Nanopartikel ZnO dan ZnO didoping Cobalt $x = 0.00, 0.01, 0.03, 0.05, 0.07$

(Azab dkk, 2019)



Gambar 4. 12 Grafik Hasil Spektroskopi UV-Vis Nanopartikel ZnO dan Nanopartikel ZnO diddoping Cobalt x= 0.00, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1

(Pan dkk, 2020)

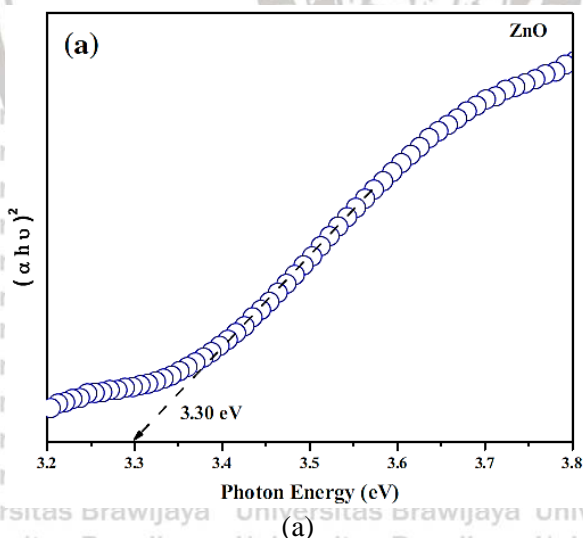


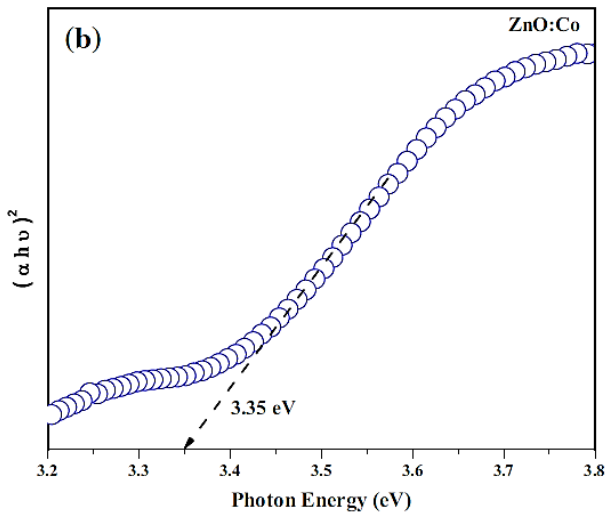
Gambar 4. 13 Grafik Hasil Spektroskopi UV-Vis Nanopartikel ZnO dan Nanopartikel ZnO didoping Cobalt x = 0.0, 0.01, 0.02, 0.03,0.04

(Singh dkk, 2020)

Sumber data yang menampilkan hasil Spektroskopi UV-Vis dan Spektroskopi Reflektansi Difusi UV-Vis dapat diamati absorbansi dan reflektansi nanopartikelnya. Data dari Devi dan Velu (2016) menyebutkan bahwa puncak eksiton absorbansi berada pada panjang gelombang sekitar 376 nm untuk Nanopartikel ZnO murni dan sekitar 370 nm untuk Nanopartikel ZnO yang telah didoping Cobalt. Data dari fabbiyola dkk (2015) menyebutkan bahwa ditemukan tiga puncak absorbansi pada Nanopartikel ZnO yang telah didoping cobalt yaitu pada panjang gelombang 565 nm, 611 nm, dan 659 nm. Data dari Azab dkk (2019) hasil uji spektroskopi yang berupa grafik reflektansi terhadap panjang gelombang terlihat bahwa reflektansi ZnO nanopartikel murni dan ZnO nanopartikel didoping Cobalt mengalami penurunan. Grafik ZnO nanopartikel didoping Cobalt memiliki tiga puncak utama yaitu pada panjang gelombang sekitar 530 nm, 750 nm,

dan 1880 nm. Data dari Pandita (2020) menunjukkan bahwa puncak eksiton absorptansi pada panjang gelombang 350 - 400 nm. Grafik nanopartikel ZnO didoping Cobalt ditemukan dua puncak lain yaitu pada panjang gelombang antara 500 - 700 nm. Data dari Singh (2020) menunjukkan bahwa puncak eksiton terlihat pada panjang gelombang antara 300 - 400 nm baik pada Nanopartikel ZnO murni maupun pada Nanopartikel ZnO didoping Cobalt. Grafik Nanopartikel ZnO yang didoping cobalt ditemukan tiga puncak baru yaitu pada panjang gelombang 565nm , 611nm, dan 660nm.

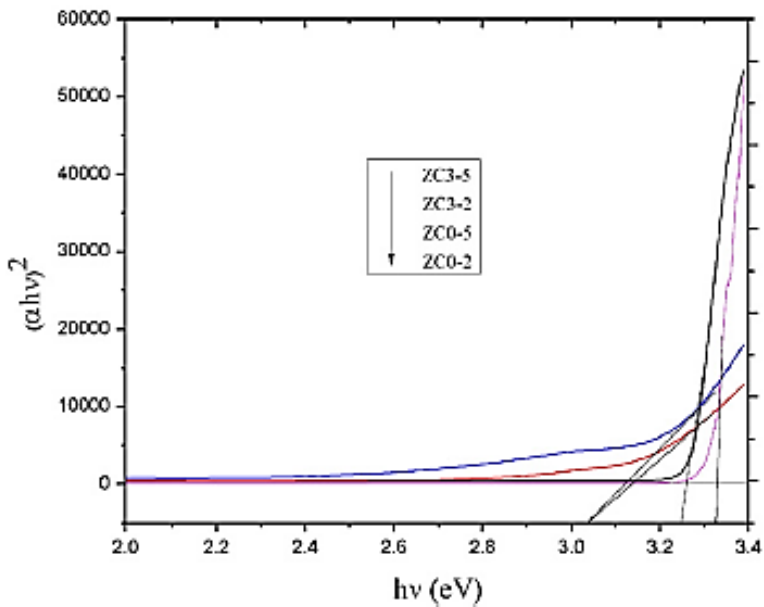




(b)

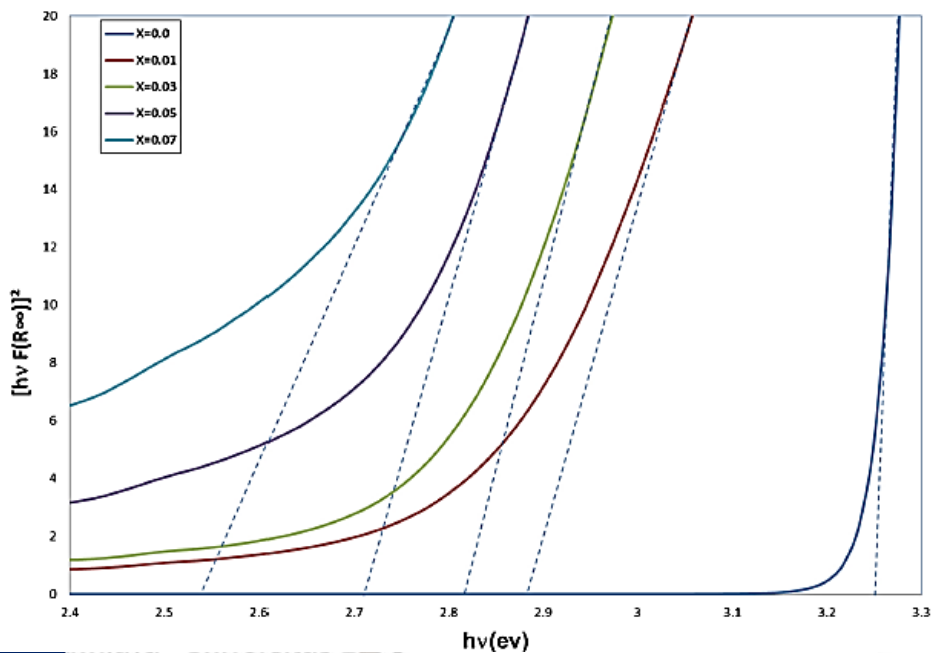
Gambar 4. 14 Grafik Tauc Plot (a) nanopartikel ZnO murni (b) nanopartikel ZnO doping Cobalt $x=0.05$

Devi dan Velu (2016)



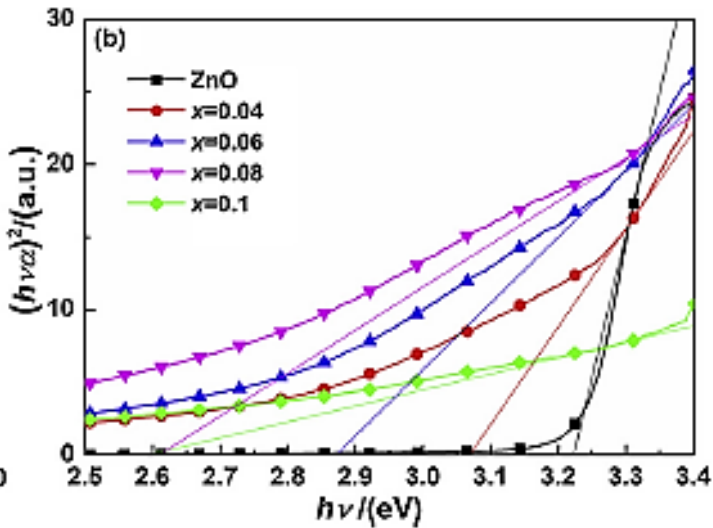
Gambar 4. 15 Grafik Tauc Plot nanopartikel ZnO doping Cobalt $x = 0.00, 0.5, 0.10, 0.15, 0.20$

(Fabbiyola dkk, 2015)



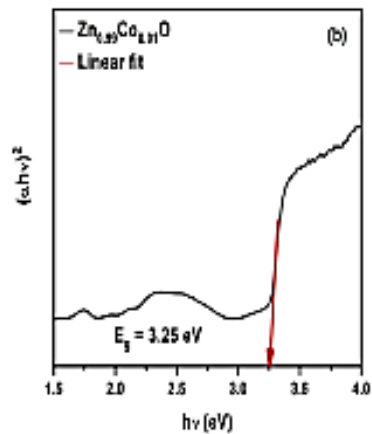
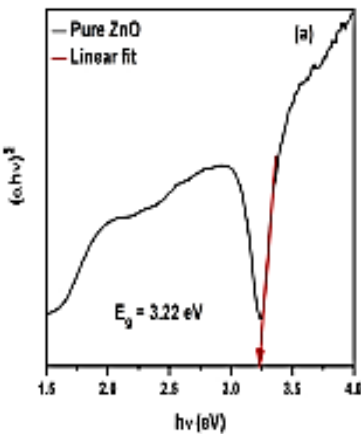
Gambar 4. 16 Grafik Tauc Plot nanopartikel ZnO doping Cobalt $x=0.00, 0.01, 0.03, 0.05, 0.07$

(Azab dkk, 2019)



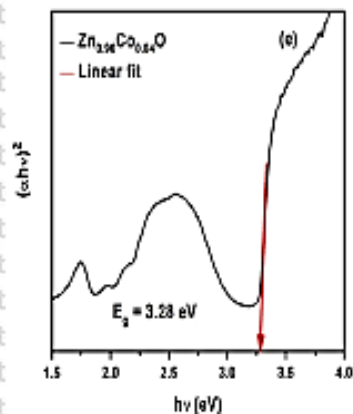
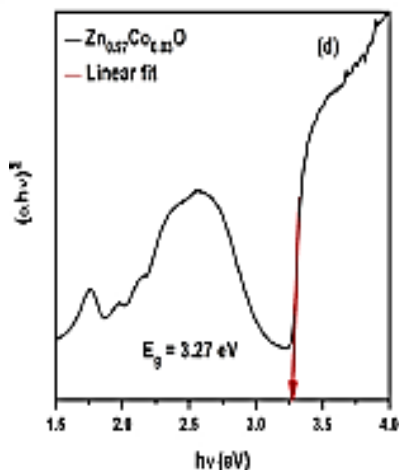
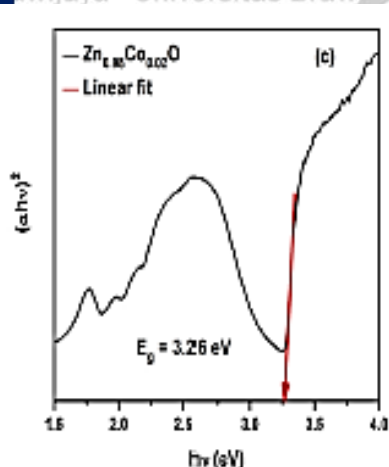
Gambar 4. 17 grafik plot $[hvF(R_{\infty})]$ terhadap energy foton $h\nu$ nanopartikel ZnO doping Cobalt $x = 0.00, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1$

(Pan dkk, 2020)



(a)

(b)



Gambar 4. 18 grafik plot $[h\nu F(R_{\infty})]$ terhadap energy foton $h\nu$ nanopartikel ZnO doping Cobalt $x = 0.00, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1$

(Singh dkk, 2020)

Data Hasil uji Spektroskopi UV-Vis dari Devi dan Velu (2016) yang telah dihitung menggunakan persamaan Tauc menunjukkan bahwa energy gap Nanopartikel ZnO murni sebesar 3.30 eV dan mengalami kenaikan setelah didoping coblt dimana energy gapnya menjadi 3.35 eV. Data dari Fabbiyola dkk (2015) menunjukkan adanya penurunan energy gap setelah ZnO murni diberi doping cobalt. Nanopartikel ZnO murni memiliki energy gap 3.27 eV, dan setelah didoping dengan cobat sebesar 0.05, 0.1, 0.15, 0.2 secara berturut turut memiliki energy gap 3.21 eV, 3.16 eV, 3.13 eV, dan 3.10 eV. Data dari Azab dkk (2019) juga menunjukkan adanya penurunan energy gap setelah didoping cobalt. Nanopartikel ZnO murni memiliki energy gap sebesar 3.27 eV dan setelah didoping dengan cobalt sebesar 0.01 energi gapnya menjadi 2.87, Nanopartikel ZnO didoping cobalt 0.03 memiliki energy gap, 2.81, kemudian Nanopartikel ZnO murni yang didoping Cobalt 0.05 memiliki energy gap 2.71 dan Nanopartikel yang didoping cobalt 0.07 memiliki energy gap 2.53.

Data hasil uji dan perhitungan dari Pan dkk (2020) menunjukkan adanya penurunan energy gap ketika Nanopartikel murni didoping dengan cobalt. Energi gap nanopartikel ZnO murni dari penelitian ini adalah 3.2 eV. Setelah Nanopartikel ZnO didoping dengan Cobalt sebesar 0.04, 0.06, 0.08, 0.01 secara berturut-turut memiliki energy gap 3.0 eV, 2.8 eV, 2.6 eV, dan 2.6 eV. Data hasil uji dan perhitungan dari Singh (2020) menunjukkan penambahan cobalt meningkatkan energy gap dimana Nanopartikel ZnO murni memiliki energy gap sebesar 3.22 eV dan setelah didoping cobalt sebesar 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, secara berturut-turut memiliki energy gap sebesar 3.25 eV, 3.26 eV, 3.27 eV, dan 3.28 eV.

Tabel 4.4 Energi Gap Data yang Dianalisis

No.	Sumber Data	Sintesis Metode	Konsentrasi Cobalt	Energi gap (eV)
1.	Devi dan Velu (2016)	Kopresipitasi	0	3.30
			0.05	3.35

2.	fabbiyola dkk (2015)	Kopresipitasi	0	3.27
			0.05	3.21
			0.1	3.16
			0.15	3.13
			0.2	3.10
3.	Azab dkk (2019)	Sol-gel	0	3.27
			0.01	2.87
			0.03	2.81
			0.05	2.71
			0.07	2.53
4.	Pan dkk (2020)	kopresipitasi	0	3.2
			0.04	3.0
			0.06	2.8
			0.08	2.6
			0.1	2.6
5	Singh dkk (2020)	Kopresipitasi	0	3.22
			0.01	3.25
			0.02	3.26
			0.03	3.27
			0.04	3.28

4.4 Pembahasan

Material ZnO memiliki tiga struktur kristal yaitu hexagonal wurtzite, cubic zinc blende, dan cubic rocksalt (Morkoç & Özgür, 2009). Struktur hexagonal wurtzite terbentuk apabila dalam tekanan normal dan fase termodinamika yang stabil. Nanopartikel ZnO memiliki struktur kristal hexagonal wurtzite. Hal ini teramati dari lima sumber data Devi dan Velu (2016), Fabbiyola dkk (2015), Azab dkk (2019), Pan dkk (2020), dan Singh (2020). Hal ini dilihat dari hasil karakterisasi menggunakan difraksi sinar-X dimana nilai 2 θ dan intensitasnya menunjukkan bahwa Nanopartikel ZnO memiliki struktur

hexagonal wurtzite dan didukung oleh nilai parameter kisinya yang mendukung hasil tersebut.

Nanopartikel ZnO yang didoping Cobalt tidak mengalami perubahan struktur kristal. bahwa hal ini terjadi karena doping Cobalt Co^{2+} hanya menempati sites vacancy Zn^{2+} , sehingga tidak mengganggu bentuk struktur ZnO murni. Penulis menganalisis bahwa Co^{2+} bisa menempati sites vacancy Zn^{2+} , karena jari-jari Co^{2+} lebih kecil dan tidak terlalu jauh berbeda dari jari-jari Zn^{2+} . Data dari Celeменти dkk (1967) menyebutkan bahwa atom Zinc memiliki jari-jari empiris 135 pm, menurut hasil perhitungan 152 pm, serta jari-jari kovalennya 131pm dan Cobalt memiliki jari-jari empiris 135pm, menurut hasil perhitungan 152pm, serta jari-jari kovalennya 126pm. Data dari Birajdar dkk (2016) menyebutkan bahwa jari-jari ion Zn^{2+} 0.06 nm dan Co^{+} 0.058 nm.

Gambar 4.1(b), gambar 4.4 (b), dan gambar 4.5 (b) merupakan pola XRD yang diperbesar pada satu puncak dari setiap sampel. Penulis mengamati adanya Perubahan puncak dari gambar dimana setelah didoping cobalt grafik menjadi lebih lebar. Pelebaran puncak ini dikarenakan adanya doping yang menyebabkan perubahan pada sel-sel pada kristal. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh sedikit perbedaan dari jari-jari ion/ atom cobalt dari Zn sehingga tidak menempati ruang Zn secara sempurna. Penulis mengamati bahwa secara perhitungan hal ini pula yang berpengaruh pada nilai diameter kristalite nya. Hubungan ini dapat dilihat dari persamaan Scherrer yang digunakan untuk menghitung d kristalite (Persamaan 2.2). Selain itu dapat diamati pula intensitas dari puncak ZnO murni dan setelah didoping dengan Cobalt. Gambar 4.1 (b) merupakan data dari Devi dan Velu (2016) menunjukan bahwa puncak pada 2θ 36.8° - 37.0° mengalami penurunan setelah didoping Cobalt. Hal ini juga terjadi pada Gambar 4.4 (b) yang merupakan data dari Pan dkk (2020). Penulis menganalisis bahwa hal ini menunjukan doping Cobalt yang terlalu banyak mengurangi derajat kristalinitasnya dikarenakan banyaknya defect akibat bahan doping. Penambahan bahan doping menyebabkan *crystal defect* karena perbedaan jari-jari ionic (seehra, 2017). Seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa penambahan bahan doping tidak mengubah bentuk kristal karena jari-jari ionic nya tidak jauh berbeda, namun perbedaan tersebut tetap berpengaruh pada kristalinitasnya (timbulnya defect).

Cristallite Size D Nanopartikel ZnO mengalami perubahan setelah didoping Cobalt. Penulis mengamati bahwa perubahan *Cristallite Size* selain dapat diamati setelah dilakukan perhitungan menggunakan hasil XRD dapat dilihat secara garis besar melalui grafik hasil XRD. Persamaan Scherrer menunjukkan bahwa nilai *Cristallite Size* berbanding terbalik dengan nilai FWHM nya (Persamaan 2.2). Ketika puncak pada grafik lebih lebar maka memiliki nilai *Cristallite Size* yang lebih kecil. Data dari Devi dan Velu (2016), Fabbiyola dkk (2015), Azab dkk (2019), Pan dkk (2020), dan Singh dkk (2020) menunjukkan setelah didoping Cobalt Nanopartikel ZnO memiliki *Cristallite Size* yang lebih kecil dan semakin kecil seiring bertambahnya jumlah doping yang ditambahkan. Hal ini dikarenakan semakin besarnya jumlah doping semakin bertambahnya defect yang terjadi pada struktur kristal. Seperti yang telah disebutkan pada paragraf sebelumnya, bahan doping mengakibatkan adanya crystal defect akibat perbedaan jari-jari ionic. Namun semua hasil sintesis menunjukkan bahwa Partikel ZnO masih termasuk kedalam Nanomaterial karena memiliki crystalite size dibawah 100 nm.

Morfologi nanopartikel ZnO dapat diamati setelah dilakukan uji menggunakan *Scanning Electron Microscopy* dan *Transmission Electron Microscopy* (TEM). Hasil uji SEM dan TEM yang ditunjukkan oleh Gambar 4.6, gambar 4.7, gambar 4.8, gambar 4.9, dan gambar 4.10 menunjukkan bentuk morfologi dari nanopartikel ZnO dan nanopartikel ZnO didoping Cobalt. Hasil Uji menunjukkan bahwa Nanopartikel ZnO murni didominasi oleh partikel dalam bentuk rod yang teramati pada hasil data dari Devi dan Velu (2016), Fabbiyola dkk (2015), Azab dkk (2019), Pan dkk (2020). Setelah didoping Cobalt, nanopartikel ZnO didominasi oleh spherical shape. Data hasil dari Singh (2020) pada nanopartikel ZnO murni lebih menunjukkan partikel-partikel dalam bentuk irregular dimana sebagian terlihat seperti seperti gerombolan karena mengalami aglomerasi dan setelah didoping cobalt nanopartikel berbentuk plate. Setelah diamati, penambahan doping membuat partikel menjadi lebih kecil. Nanopartikel yang sebelumnya berbentuk rod menjadi sphere yang artinya penambahan doping mengakibatkan defect dan membuat membentuk partikel yang lebih kecil. Penulis menyimpulkan bahwa hal ini bias diakibatkan karena defect yang terjadi menimbulkan adanya

grain boundaries/ batas butir yang lebih banyak. Hal ini juga terjadi pada data dari Singh (2020) partikel yang berbentuk irregular seperti gumpalan-gumpalan dan setelah didoping membentuk lempengan-lempengan.

Ukuran partikel dapat diketahui dari hasil SEM yang diolah menggunakan aplikasi image . Hasil dari pengukuran menggunakan ImageJ menunjukkan bahwa rata-rata diameter nanopartikel menurun setelah penambahan doping Cobalt terhadap nanopartikel ZnO. Diameter rata-rata partikel semakin berkurang seiring dengan bertambahnya jumlah bahan doping yang ditunjukkan oleh data dari Azab dkk (2019) dan pan dkk (2020). Penulis mengamati bahwa berkurangnya ukuran partikel akibat penambahan doping cobalt ini kemungkinan disebabkan oleh adanya defect yang terjadi akibat penambahan doping. Terjadinya defect telah dijelaskan pada paragraph sebelum-sebelumnya.

Sifat optik nanopartikel ZnO diketahui melalui hasil karakterisasi menggunakan Spektroskopi UV-Vis. Beberapa sifat optic yang dapat diamati adalah absorbansi dan reflektansinya. Perilaku nya terhadap cahaya UV dan tampak juga dapat memberikan informasi mengenai besarnya energy gap yang dimiliki. Empat sumber data yang menunjukkan data absorbaansi menunjukkan bahwa eksiton peak absorbansi nanopartikel ZnO dan nanopartikel ZnO murni berada diantara panjang gelombang 300 – 400 nm. Puncak ekiston menunjukkan dimana pada keadaan tersebut terjadi adanya gabungan electron dan hole akibat proses eksitasi dan deeksitasi karena energy gap (Pujaatmaka dkk, 1988). Data puncak eksiton yang disebutkan secara pasti yaitu pada Devi dan Velu (2016) dimana puncak absorbansi nanopartikel ZnO murni pada panjang gelombang 376 nm dan setelah didoping Cobalt bergeser sedikit ke panjang gelombang 370 nm. Pergeseran puncak ini juga terlihat pada grafik data pan dkk (2020) dan Singh dkk (2020). Penambahan doping kobalt mengakibatkan adanya pelebaran spektrum absorpsi setelah puncak UV yang mungkin disebabkan oleh cacat yang berhubungan dengan permukaan pada partikel nano (Thangeeswari, 2016). Gambar 4.11 menunjukkan data grafik dari Azab dkk (2019) dimana reflektansi nanopartikel ZnO setelah didoping Cobalt mengalami penurunan. Hal ini sebanding dengan data dari Pan dkk (2020) Gmabar 4.12 menunjukkan absorbansi meningkat setelah didoping Cobalt. Penulis

menyimpulkan bahwa hal ini terjadi karena meningkatnya luas permukaan partikel setelah didoping Cobalt sehingga mengakibatkan sinar UV-Vis lebih banyak terserap. Material yang lebih kecil memiliki luas permukaan yang lebih luas (Vollath, 2013). Meningkatnya luas permukaan nanopartikel disebabkan karena setelah didoping Cobalt crystallite size dan ukuran partikel menurun yang dapat diketahui dari analisis dan pembahasan mengenai struktur dan morfologi. Setelah didoping Cobalt, ditemukan tiga puncak baru pada panjang gelombang antara 500 – 700 nm dimana secara detail pada data fabbiyola dkk (2015) dan Singh dkk (2015) menyebutkan tiga puncak tersebut pada panjang gelombang 565nm, 611 nm, serta sekitar 659-660 nm. Tiga puncak baru menunjukkan adanya doping Cobalt terhadap yang mengakibatkan perubahan pada sifat optiknya dan mengakibatkan perubahan pula pada energy gapnya.

Energi gap nanopartikel ZnO murni dan nanopartikel ZnO didoping Cobalt dihitung menggunakan hasil Spektroskopi UV-Vis. Energi gap nanopartikel ZnO mengalami penurunan setelah didoping cobalt dan semakin menurun seiring bertambahnya penambahan cobalt. Hal ini ditunjukkan oleh data dari Fabbiyola dkk (2015), Azab dkk (2019), dan Pan dkk (2020). Penurunan energi gap dipengaruhi oleh interaksi pertukaran sp-d antara elektron d terlokalisasi dan pita elektron dari ion Co yang menempati kisi ZnO. Penurunan energy gap juga dapat dipengaruhi oleh meningkatnya konsentrasi pembawa muatan pada nanopartikel ZnO didoping Cobalt (Thangeeswari, 2016).

Data dari Devi dan Velu (2016) serta Singh dkk (2015) menunjukkan hal yang berbeda dimana setelah didoping cobalt nanopartikel ZnO memiliki pita energy gap yang semakin meningkat dan semakin meningkat seiring bertambahnya jumlah doping. Kenaikan band-gap dapat dijelaskan oleh Efek Burstein-Moss. Kenaikan band gap terjadi ketika energy fermi naik mendekati pita konduksi karena peningkatan pada konsentrasi pembawa transisi energy rendah dihalangi. Pita energi gap naik karena penggabungan ion Co^{2+} pada kisi ZnO (Ellmer dkk, 2008)

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan studi literature yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa adanya pengaruh doping Cobalt ke dalam nanopartikel ZnO. Struktur Kristal nanopartikel ZnO yang telah didoping Cobalt dengan variasi doping cobalt hingga 20% ($x = 0.2$) berdasarkan indikasi rasio parameter kisi dan pola hasil difraksi sinar x yang dibandingkan dengan literature adalah Hexagonal Wurtzite. Pengaruh terhadap *crystallite size* setelah penambahan doping Cobalt yaitu adanya penurunan ukuran *crystallite size* akibat adanya sedikit perbedaan jari-jari ionik antara Zn^{2+} dan Co^{2+} . Pengaruh terhadap morfologi yaitu adanya perubahan dari bentuk yang lebih besar ke bentuk yang lebih kecil yaitu *rod* ke *sphere* dan ukuran partikel semakin berkurang setelah ditambahkan bahan doping. Pengaruh terhadap sifat optik yang diamati adalah absorbansi dan energy gapnya. Absorbansi setelah didoping cobalt meningkat karena luas permukaan partikel meningkat akibat semakin berkurangnya ukuran partikel. Nilai absorbansi ini sebanding dengan nilai reflektansi yang semakin menurun akibat cahaya telah terabsorb lebih banyak. Energi gap nanopartikel ZnO setelah didoping Cobalt mengalami penurunan akibat menempatnya Co^{2+} pada kisi ZnO.

5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, disarankan untuk penelitian selanjutnya supaya melakukan proses analisis pada pengaruh komponen dalam proses sintesis seperti bahan prekursor pelarut, suhu yang digunakan terhadap struktur, morfologi dan sifat optik dari nanopartikel ZNO yang didoping Cobalt.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

- Azab, A. A., Esmail, S. A., dan Abdelamksound, M. K. (2019). Studying the Effect of Cobalt Doping on Optical and Magnetic Properties of Zinc Oxide Nanoparticles. *Journal of Silicon*, 11, 165-174. <https://doi.org/10.1007/s12633-018-9902-4>.
- Birajdar, S.D., Bhagwat, V., Shinde A., dan Jadhav, K. (2016). Effect of Co²⁺ ions on structural, morphological and optical properties of ZnO nanoparticles synthesized by solgel auto combustion method. *Material Science Semikonduktor Process*. 41 (2016) 441–449.
- Bhagyaraj, S. M., Oluwafemi, O. S., Kalarikkal, N., dan Thomas, S. (2018). *Synthesis of Inorganic Nanomaterials :Advances and Key Technolog*. New Delhi: Woodhead Publishing.
- Cao, G. (2004). *Nanosructure & Nanomaterials*. Washington: Imperial College Press.
- Clementi, E., Raimond, D. L.; Reinhardt, W. P. (1967). Atomic Screening Constants from SCF Functions. II. Atoms with 37 to 86 Electrons. *Journal of Chemical Physics*. 47 (4): 1300 – 1307. doi:10.1063/1.1712084.
- Davis, J. R. (2000). *ASM Specialty Handbook: Nickel, Cobalt, and Their Alloys*. ASM International.
- Devi, P. G., & Velu, A. S. (2016). Synthesis , structural and optical properties of pure ZnO and Co doped ZnO nanoparticles prepared by the co-precipitation method. *Journal of Theoretical and Applied Physics*, 10(3), 233–240. <https://doi.org/10.1007/s40094-016-0221-0>
- Ellmer, Klaus, Klein, Andreas, dan Rech, Bernd. (2008). *Transparant Conductive Zinc Oxide : Basic and Applications in Thin Film Solar Cells*. Berlin : Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Fabbiyola, S., Kennedy, L. J., Aruldoss, U., Bououdina, M., Dakhel,



A. A., & Judithvijaya, J. (2015). Synthesis of Co-doped ZnO nanoparticles via co-precipitation: Structural, optical and magnetic properties. *Powder Technology*, 286, 757–765. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.08.054>

He, rongliang, Tang, Bin, Ton-That, Cuong, , Philips, Matthew R., dan Tsuzuki, Takuya. (2013). Physical structure and optical properties of Co-doped ZnO nanoparticles prepared by co-precipitation. *Journal Nanoparticle Research*. 15: 2030. Doi: 10.1007/s11051-013-2030-6.

Jagadish, C. dan Pearton, S. (2006). *Basic Properties and Application of ZnO*. Canberra : The Australian National University.

Kittel, Charles. (2005). *introduction to SOLID STATES Physics* (8 th). New York: Jhons Wiley & Sons, Inc.

Merkus, Henk G. (2009). *Particle Size measurements : Fundamental, Practical, Quality*. Belanda : Springer Netherlands

Morkoç, H., & Özgür, U. (2009). *Zinc Oxide*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

Nair, M. G., Nirmala, M., Rekha, K., dan Anukaliani, A. (2011). Structural, optical, photo catalytic and antibacterial activity of ZnO and Co doped ZnO nanoparticles. *Material Letters*, 65, 1797–1800.

Sani, R. A. (2019). *Karakterisasi Material*. Jakarta : Bumi Aksara.

Seehra, Mohindar Singh. (2017). *Nanostructured Materials : Fabrication to Applications*. Kroasia (Zagreb) :Intechopen.

Sutanto, H., & Wibowo, S. (2015). *Semikonduktor Fotokatalis Seng*

Oksida dan Titania (Sintesis , Deposisi dan Aplikasi).
Semarang: Penerbit Telescope.

Thangeeswari, T., George, Tresa Ann, dan Kumar, A. Arun.
(2016). Optical Properties and FTIR Studies of Cobalt
Doped ZnO Nanoparticles by Simple Solution Method.
Indian Journal of Sciences and Technology. 9 (1): 2 – 4.
doi: 10.17485/ijst/2016/v9i1/85776.

Vollath, D. (2013). *Nanomaterials : An Introduction to Synthesis,
Properties, and Applications* (2 nd). Germany: WILEY-VCH
Verlag GmbH & Co. KGaA.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil pengukuran dimeter rata-rata partikel menggunakan aplikasi Image J.

1. Nanopartikel ZnO murni Devi dan Velu (2016)

Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
	1883,657	168,281	154	183,594	-50,194	164,426
	886,427	145,625	124	156	-90	73,684
	775,623	158,833	126	172,5	-80,538	64,029
	775,623	104,143	91	112	-90	63,158
	1440,443	142,949	137	147	-41,634	126,754
	1108,033	146,821	113	165,444	35,538	90,551
	664,82	140,267	134	143	111,801	56,686
	2659,28	157,344	146,917	180	-54,56	239,022
	1108,033	136,4	92	149	-90	94,737
	2216,066	131,432	118	140	-21,251	203,297
Mean	1351,801	143,21	123,592	154,854	-59,444	117,634
SD	684,633	17,674	20,993	21,543	43,326	64,197
Min	664,82	104,143	91	112	111,801	56,686
Max	2659,28	168,281	154	183,594	35,538	239,022

2. Nanopartikel ZnO didoping Cobalt 0.05 (2016)

Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
	1104,972	147,833	138	153,667	-71,565	99,723
	552,486	144,75	140	147,5	-75,964	43,341
	1104,972	151,759	124	166,889	-49,399	96,914
	1657,459	157,831	129	170,245	-24,775	150,506
	1104,972	160,959	154	166	-20,556	89,813
	1546,961	166,24	156	173	-63,435	141,03
	883,978	146,388	145	147,245	-45	74,329
	1325,967	128,87	123	138	-56,31	113,702
	1215,47	218,018	213	226	-73,301	109,746

	1325,967	177,976	159	188,793	-63,435	117,525
	773,481	169,381	163	173,333	-71,565	66,482
	1104,972	157,933	155,568	162,259	-63,435	94,02
	883,978	155,168	146	158,735	-63,435	70,515
	773,481	144,595	132	150,917	-59,036	61,294
	773,481	167,238	162	174	-71,565	66,482
	773,481	164,929	148	172	-80,538	63,941
	773,481	156,929	141	161,333	-30,964	61,294
	883,978	175,24	168,51	186	-45	74,329
	552,486	165,6	164	168	-75,964	43,341
	552,486	167,1	156	174	-63,435	47,01
Mean	983,425	161,237	150,854	167,896	-58,434	84,267
SD	318,44	17,858	19,929	18,755	17,375	30,764
Min	552,486	128,87	123	138	-80,538	43,341
Max	1657,459	218,018	213	226	-20,556	150,506

3. Nanopartikel ZnO murni Fabbiyola dkk (2015)

Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
	129,782	75,24	51,439	91,637	41,424	52,721
	118,967	87,864	78	91	41,186	49,439
	113,56	83,577	62	89	30,466	45,865
	113,56	121,986	111	128,12	63,435	46,798
	102,744	116,188	105	121,667	22,38	42,752
	102,744	118,216	99	128	49,399	42,879
	75,706	93,88	72	98,391	38,66	29,78
	108,152	108,064	83	113,526	53,427	44,881
	91,929	101,94	86	110,031	52,431	38,14
	91,929	109,302	94	118,531	47,49	37,855
Mean	104,907	101,626	84,144	108,99	16,965	43,111
SD	15,548	15,894	18,927	15,411	44,448	6,557
Min	75,706	75,24	51,439	89	63,435	29,78
Max	129,782	121,986	111	128,12	53,427	52,721

4. Nanopartikel ZnO doping Cobalt 0.2 Fabbioal dkk (2015)

Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
	81,711	105,721	100,333	118	23,199	34,421
	137,887	91,806	58	102,865	38,83	59,469
	97,032	121,099	111	133	-12,529	41,67
	86,818	115,435	80	126,57	-52,431	37,064
	81,711	125,272	111	137,8	-31,608	34,495
	127,673	81,584	60	90,812	114,444	54,612
	81,711	102,945	88,853	111,333	-66,801	34,421
	112,352	98,714	88	111	-8,13	47,939
	51,069	102,1	83	109	-71,565	21,439
	102,139	92,692	81	99,368	-93,013	42,997
Mean	96,01	103,737	86,119	113,975	-38,849	40,853
SD	25,341	13,702	18,25	14,975	49,73	11,084
Min	51,069	81,584	58	90,812	114,444	21,439
Max	137,887	125,272	111	137,8	38,83	59,469

5. Nanopartikel ZnO murni Azab dkk (2019)

Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
	417,578	137,139	114,762	191	20,925	122,286
	180,574	96,793	82,653	119,25	38,047	49,058
	237,004	59,089	40,28	106	15,751	68,065
	237,004	178,34	122,762	240	1,432	67,21
	395,006	138,079	116,739	188	0,855	112,554
	203,146	139,528	89,5	189	0	57,111
	282,147	61,095	41,812	75,875	10,62	82,032
	248,289	88,242	59,476	116,173	38,234	70,568
	270,861	79,005	50,036	126	88,727	75,606
	316,005	34,598	18,673	75	36,027	91,387
Mean	278,761	101,191	73,669	142,63	10,247	79,588

SD	77,473	45,423	36,817	55,702	36,257	23,275
Min	180,574	34,598	18,673	75	38,047	49,058
Max	417,578	178,34	122,762	240	88,727	122,286

6. Nanopartikel ZnO didoping Cobalt 0.01 Azab dkk (2019)

Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
	134,81	128,222	58	159	57,724	37,661
	134,81	49,055	16,942	71,041	-70,71	35,511
	123,576	123,271	91	135,773	81,027	32,236
	258,387	109,32	85,293	186,5	69,146	75,321
	101,108	126,333	119,5	142,5	-90	26,814
	190,981	50,767	40	55,75	-90	51,952
	168,513	48,71	27,26	145,5	61,557	45,742
	179,747	79,332	65,142	117	61,699	49,488
	157,279	71,706	27	93,077	66,501	42,031
	179,747	41,719	12,4	170,75	70,346	49,827
	168,513	80,239	53,33	175	47,862	47,46
	157,279	100,895	65	118,518	-135	42,661
	101,108	130,576	97	166,25	72,646	28,093
	157,279	97,877	72,018	151,25	68,199	45,124
	112,342	120,767	92,833	143	80,538	30,582
Mean	155,032	90,586	61,515	135,394	74,864	42,7
SD	40,55	32,541	32,159	38,079	20,191	12,201

Min	101,108	41,719	12,4	55,75	-135	26,814
Max	258,387	130,576	119,5	186,5	47,862	75,321

7. Nanopartikel ZnO didoping cobalt 0.03 Azab dkk (2019)

Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
	82,016	32,018	16,182	77,5	-43,152	28,668
	54,677	84,375	72	117,5	-90	18,3
	143,528	68,187	39,748	112	-91,469	50,996
	82,016	120,738	98,471	148	-48,814	27,791
	61,512	20,92	8,75	47	-68,199	21,118
	109,355	43,321	31,56	78,25	-72,181	38,445
	82,016	139,166	129,25	151	-65,772	28,668
	95,686	86,582	68,589	107	-68,199	35,196
	82,016	105,394	79,752	135	-57,724	29,375
	82,016	96,656	67,566	128,182	-41,424	29,635
	82,016	116,674	97,682	132,5	-50,528	28,787
	95,686	132,292	121,163	154,5	-38,66	33,48
	82,016	80,978	53,839	145,5	-68,199	28,157
	88,851	49,926	29,286	100,75	-87,51	30,093
	109,355	168,539	142,5	182,25	-88,091	39,237
	136,694	24,87	3,587	80	-68,749	50,491
	95,686	134,624	103	170	-38,66	33,48
	95,686	72,008	55,457	92	-58,671	35,196
	102,52	112,605	88,75	181	-38,991	35,318
	136,694	44,692	16,026	127	-94,635	48,524
Mean	95,002	86,728	66,158	123,347	-63,981	33,548
SD	23,246	42,139	41,491	36,869	19,169	8,72
Min	54,677	20,92	3,587	47	-94,635	18,3
Max	143,528	168,539	142,5	182,25	-38,66	50,996

8. Nanopartikel ZnO didioping Cobalt 0.05 Azab dkk (2019)

Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
	79,625	96,091	58,4	136	-59,534	26,532
	50,671	122,226	107,5	148	9,462	16,366
	86,864	100,811	71,341	153	-95,194	29,717
	43,432	109,608	79,7	158,75	-84,289	13,519

	43,432	111,767	106,5	116	-60,945	13,85
	43,432	116,483	99	133	-119,055	13,85
	115,818	125,524	75,25	156	-80,218	39,587
	86,864	126,562	113,031	149,75	-62,241	28,883
	65,148	117,441	92,625	157	-75,069	20,884
	65,148	116,289	103,414	137	-57,265	22,389
	65,148	179,346	173,922	185,672	-26,565	21,056
	65,148	86,509	63,125	127,75	-78,69	20,578
	57,909	131,878	125,51	155	-63,435	18,048
	144,773	41,305	0,557	76,5	-66,801	51,225
	72,387	103,381	41,5	153	26,565	24,064
Mean	72,387	112,348	87,425	142,828	-59,552	24,037
SD	28,035	28,788	39,934	24,52	37,613	10,314
Min	43,432	41,305	0,557	76,5	-119,055	13,519
Max	144,773	179,346	173,922	185,672	26,565	51,225

9. Nanopartikel ZnO murni Pan dkk (2020)

Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
	473,373	84,719	79	91	-33,69	55,47
						108,78
	887,574	73,464	58	92,265	-45	6
	532,544	101,034	93	117,833	-63,97	61,351
	710,059	127,163	105,74	171	-45	87,029
	710,059	132,997	113,59	157	-45	87,029
	710,059	110,621	101	127,909	-79,695	86,003
	591,716	101,067	75	127,333	-71,565	72,976
						114,35
	946,746	92,525	69	119	-70,346	4
	650,888	97,268	77	101,6	-60,945	79,197
						121,62
	1005,917	93,37	64	131	-71,565	6
Mean	721,893	101,423	83,534	123,594	-58,678	87,382
SD	175,974	18,155	18,775	25,89	15,38	21,937
Min	473,373	73,464	58	91	-79,695	55,47
						121,62
Max	1005,917	132,997	113,59	171	-33,69	6

10. Nanopartikel ZnO didoping Cobalt 0.04 Pan dkk (2020)

Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
	357,029	123,815	114,5	143,917	79,992	41,095
	306,025	146,036	140,143	159,333	61,699	35,149
	306,025	131,459	123,842	141	74,055	34,662
	306,025	130,278	102,75	139,417	71,565	37,64
	306,025	125,971	121,51	131,617	66,801	36,26
	357,029	119,884	107,083	130,438	35,538	40,957
	306,025	129,332	125,103	137,417	12,095	34,085
	306,025	140,95	131,167	156,417	36,027	32,379
	459,037	119,462	112,667	128,729	-51,71	57,628
	408,033	109,239	87,639	127,631	74,055	51,992
Mean	341,728	127,643	116,64	139,592	56,354	40,185
SD	54,031	10,662	15,116	11,089	22,064	8,307
Min	306,025	109,239	87,639	127,631	79,992	32,379
Max	459,037	146,036	140,143	159,333	12,095	57,628

11. Nanopartikel ZnO didoping Cobalt 0.06 Pan dkk (2020)

Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
	332,64	169,719	149,861	181,542	-48,814	28,902
	266,112	108,093	88,833	119,287	-69,444	23,23
	332,64	140,131	107,722	158,611	-90	29,907
	266,112	132,88	120,083	144,009	-53,13	27,188
	465,696	150,563	128,139	168,454	-12,529	50,133
	332,64	135,622	133,222	137,688	-4,399	35,449
	399,168	115,386	99,75	126,167	-90	38,064

	332,64	165,951	148,833	176,556	-32,471	35,449
	266,112	163,464	153,444	172,154	-32,005	25,649
	399,168	158,003	114,194	192,716	-36,87	40,782
Mean	339,293	143,981	124,408	157,718	-46,966	33,475
SD	66,157	21,287	22,247	24,795	29,409	8,159
Min	266,112	108,093	88,833	119,287	-90	23,23
Max	465,696	169,719	153,444	192,716	-4,399	50,133

12. Nanopartikel ZnO didoping Cobalt 0.08 Pan dkk (2020)

Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
1	242,833	159,688	150,333	165,25	-12,529	23,945
	364,25	163,66	152,5	170,248	-39,289	36,913
	182,125	123,5	112,417	133,333	-51,34	16,63
	303,541	164,033	149,5	173,333	-52,125	29,612
	242,833	160,785	157,667	163,472	-77,471	23,945
	182,125	178,435	163,667	191,333	-45	18,365
	182,125	121,528	115,167	131	-59,036	15,144
	242,833	133,069	127,028	139,377	-57,995	24,502
	303,541	124,967	107	134,917	8,746	34,161
	364,25	159,034	135,333	172,089	109,654	38,61
Mean	261,046	148,87	137,061	157,435	-49,569	26,183
SD	70,391	20,81	20,536	21,059	32,418	8,38



	182,125	121,528	107	131	109,654	-
Min						15,144
Max	364,25	178,435	163,667	191,333	8,746	38,61

13. Nanopartikel Zno didoping Cobalt 0.1 Pan dkk (2020)

Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
	214,158	128,356	122,75	133,083	130,601	-
	321,237	142,51	111	155,77	107,103	-
	214,158	131,368	121,417	135,778	-71,565	23,139
	267,698	133,371	108,806	150,5	-52,125	27,809
	160,619	122,926	109,25	132,167	-74,055	17,756
	267,698	151,181	123,972	165,444	-90	26,829
	267,698	131,714	109,333	150	-84,806	26,94
	160,619	127,62	123	136,111	-45	17,247
	160,619	119,861	115,5	125,75	-56,31	17,588
	214,158	152,874	144,333	160,38	-32,005	23,01
Mean	224,866	134,178	118,936	144,498	-74,357	23,598
SD	55,295	11,211	10,909	13,6	29,95	5,201
Min	160,619	119,861	108,806	125,75	130,601	17,247
Max	321,237	152,874	144,333	165,444	-32,005	33,174

Lampiran 2. Data Hasil XRD dan dibandingkan dengan data JCPDS
(Devi dan velu, 2016).

JCPDS card no: (79- 2205) 2θ (degree)	ZnO 2θ (degree)	ZnO:Co 2θ (degree)	JCPDS card no: (79- 2205) d-spacing (Å)	ZnO d-spacing (Å)	ZnO:Co d-spacing (Å)	ZnO FWHM β (°)	ZnO:Co FWHM β (°)	(hkl)	JCPDS card no: (79-2205) relative intensity	ZnO relative intensity	ZnO:Co relative intensity
31.79	31.76	31.86	2.81	2.81	2.80	0.22	0.25	100	56.40	54.34	60.08
34.41	34.41	34.51	2.60	2.60	2.59	0.21	0.22	002	41.50	43.61	48.16
36.25	36.24	36.34	2.47	2.47	2.46	0.23	0.29	101	99.99	100.00	100.00
47.53	47.53	47.63	1.91	1.91	1.90	0.35	0.24	102	21.10	17.84	24.85
56.59	56.59	56.69	1.62	1.62	1.62	0.29	0.31	110	30.50	31.68	42.22
62.85	62.85	62.96	1.47	1.47	1.47	0.42	0.31	103	26.80	20.97	32.46
66.37	66.36	66.43	1.40	1.40	1.40	0.40	0.30	200	4.00	4.33	4.53
67.94	67.96	68.04	1.37	1.37	1.37	0.36	0.39	112	21.70	15.65	32.08
69.08	69.12	69.17	1.35	1.35	1.35	0.42	0.50	201	10.60	7.15	13.80
76.95	76.94	77.00	1.23	1.23	1.23	0.70	0.50	202	3.30	2.71	2.87